



# **BACHELORARBEIT**

**Marvin Borchers**

**Sicherung der technischen Abläufe  
in der digitalen Kinematografie**

**Securing technical procedures in  
digital cinematography**

2012

Fakultät Medien

# **BACHELORARBEIT**

## **Sicherung der technischen Abläufe in der digitalen Kinematografie**

Autor:

**Marvin Borchers**

Studiengang:

**Film und Fernsehen**

Seminargruppe:

**FF08w1-B**

Erstprüfer:

**Prof. Rainer Zschockelt**

Zweitprüfer:

**Dipl. Regisseur Tillmann Roth**

Mittweida, August 2012

**Bibliografische Angaben**

Borchers, Marvin (25040)

Sicherung der technischen Abläufe in der digitalen Kinematografie

Bachelorarbeit, Hochschule Mittweida, Fakultät Medien, Mittweida 2012

**Referat**

Die Bachelorarbeit beschäftigt sich mit denameratechnisch relevanten Veränderungen in der digitalen Kinematografie und deren Auswirkungen auf die Sicherheit einer digitalen Filmproduktion. Darüber hinaus werden die neuen technischen und personellen Strukturen in der Kameraabteilung in Bezug auf die Sicherung der technischen Abläufe betrachtet und bewertet.

## **Inhalt**

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis .....	VII
Einleitung.....	VIII
<b>1 Die digitale Filmkamera .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Wahl der Kamera und des Aufnahmeformats in der Vorproduktionsphase .....</b>	<b>13</b>
2.1 Mögliche Auswahlkriterien .....	13
2.2 Technische Grundlagen der verwendeten Bildwandler.....	14
2.2.1 CCD-Bildwandler.....	15
2.2.2 CMOS-Bildwandler.....	19
2.2.3 Farbseparation .....	22
2.2.4 Dynamik und Rauschverhalten .....	24
2.2.5 Chipgröße und Auflösung.....	25
2.3 Technische Grundlagen der Aufnahmeformate .....	27
2.3.1 Farbraumnormen.....	27
2.3.2 Quantisierung und Abtastraster.....	29
2.3.3 RAW .....	32
2.3.4 Codec's in professionellen Anwendungen .....	32
2.4 Vergleich aktueller digitaler Filmkameras .....	33
<b>3 Sicherung der technischen Abläufe in der Produktionsphase ....</b>	<b>37</b>
3.1 Der Kameratest.....	37
3.1.1 Dokumentation des Kameratests .....	38
3.1.2 Bedeutung des DIT während des Kameratests.....	40
3.2 Hierarchie der Assistenten .....	40
3.3 Berufsbild: Digital Image Technician (DIT).....	42
3.4 Kamera-Setup.....	44



3.5	Videovillage und Instrumente aus der Signalmesstechnik.....	45
3.5.1	Produktions- und Assistentenmonitore.....	45
3.5.2	Waveformmonitor .....	47
3.5.3	Vektorskop .....	49
3.5.4	Histogramm und RGB-Histogramm.....	50
3.6	Wandel der Kameraarbeit mit der Digitaltechnik.....	51
3.7	Potenzielle Probleme kennen und vermeiden.....	52
<b>4</b>	<b>Datensicherheit und Analyse des Datenworkflows .....</b>	<b>55</b>
4.1	Aufzeichnungssysteme der aktuellen digitalen Filmkameras.....	55
4.2	Data-Wrangling-Spot und Datensicherung .....	57
4.2.1	Technische Ausstattung am Data-Wrangling-Spot .....	57
4.2.2	Datensicherung .....	58
4.2.3	Digitaler Fusselcheck und erste technische Kontrolle .....	59
4.2.4	Verwaltung und Bewältigung der Daten .....	60
4.2.5	Datensicherheit im Vergleich zu Negativfilm .....	61
4.3	On-Set Dailies (OSD).....	62
<b>5</b>	<b>Qualitätsprüfung in der Postproduktionsphase.....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>66</b>
	Literaturverzeichnis .....	LXVIII
	Anlagen .....	LXXV
	Urhebererklärung .....	XCI

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

<i>Abbildung 1:</i>	FF-CCD.....	15
<i>Abbildung 2:</i>	FT-CCD (links), IT-CCD (rechts).....	16
<i>Abbildung 3:</i>	Smear-Effect.....	17
<i>Abbildung 4:</i>	FIT-CCD.....	18
<i>Abbildung 5:</i>	CMOS-Funktionsprinzip.....	19
<i>Abbildung 6:</i>	Front- und Backside-Illuminated-Sensor.....	20
<i>Abbildung 7:</i>	Rolling-Shutter-Effect.....	21
<i>Abbildung 8:</i>	Hybridlösung mit Umlaufblende .....	22
<i>Abbildung 9:</i>	RGB-Streifenfilter und Bayer-Pattern.....	23
<i>Abbildung 10:</i>	F-65-CMOS-Sensor im Vergleich zum 4K-Bayer-Sensor..	24
<i>Abbildung 11:</i>	Berechnung des Signal-Rausch-Verhältnisses.....	25
<i>Abbildung 12:</i>	Bildfeldgrößenvergleich .....	26
<i>Abbildung 13:</i>	Farbraumvergleich im CIE 1931 Modell.....	28
<i>Abbildung 14:</i>	4-Bit-Quantisierung zu 3-Bit-Quantisierung .....	30
<i>Abbildung 15:</i>	Abtastraster $Y_C R_C B_C$ -4:4:4/4:4:2:2 und RGB-4:4:4.....	31
<i>Abbildung 16:</i>	Vergleich der effektiven Auflösungen .....	34
<i>Abbildung 17:</i>	Testkarte .....	38
<i>Abbildung 18:</i>	Skala zum Testen des Schärfenverlaufs .....	39
<i>Abbildung 19:</i>	Hierarchie der Assistenten.....	41
<i>Abbildung 20:</i>	100/75 Farbbalken und Paradendarstellung.....	47
<i>Abbildung 21:</i>	Waveformdarstellung (Beispielbild) .....	48
<i>Abbildung 22:</i>	RGB-Parade eines Waveformmonitors (Beispielbild) .....	48
<i>Abbildung 23:</i>	Funktionsprinzip eines Vektorskops und Beispielbild .....	49
<i>Abbildung 24:</i>	RGB- Histogramm.....	50
<i>Abbildung 25:</i>	Potenzielle Bildfehler .....	53
<i>Abbildung 26:</i>	Aufzeichnungssysteme für RAW-Workflows.....	56
<i>Abbildung 27:</i>	Datensicherung.....	59
<i>Tabelle 1:</i>	Kameravergleich .....	35
<i>Tabelle 2:</i>	Kamera-Setup .....	44
<i>Tabelle 3:</i>	Anforderungen an Studiomonitore nach EBU-Tech 3320 .....	46

## **Abkürzungsverzeichnis**

2K	2000: beschreibt die horizontale Pixelauflösung unter anderem in der digitalen Kinoprojektion, 2K-Breitwand 1:1,85 2048 x 1107 Pixel
4K	4000: beschreibt die horizontale Pixelauflösung unter anderem in der digitalen Kinoprojektion, 4K-Breitwand 1:1,85 4096 x 2214 Pixel
dB	Dezibel
DIT	Digital Image Technician, auch Digital Imaging Technician
DoP	Director of Photography
fps	frames per second
Gbit/s	Gigabit in der Sekunde
HD	High Definition
k.A.	keine Angaben
Mbit/s	Megabit in der Sekunde
MHz	Megahertz
SD	Standard Definition

## Einleitung

Der *Super-16mm-Negativfilm* ist als Aufnahmemedium fast völlig aus dem Produktionsalltag verschwunden und die Digitaltechnik setzt sich sowohl in den Kinosälen als auch bei den Kameraherstellern durch. Die *digitale Filmkamera* ersetzt die Filmkamera, Kinos rüsten auf digitale Projektion um und Kopierwerke schließen oder investieren immer weiter in den digitalen Bereich und versuchen sich dort zu bewähren. Auch wenn es sich noch nicht in allen Bereichen widerspiegelt, ist der digitale Wandel längst vollzogen und hat die Branche neu geformt. Diese Abschlussarbeit widmet sich den technischen Auswirkungen der Neuformungen in der Kameraabteilung einer Filmproduktion und unterliegt dabei der folgenden Fragestellung:

Wie wirkt sich die Digitalisierung der Branche bzw. die Einführung der digitalen Filmkamera aus Sicht der Kamertechnik auf die Sicherheit einer Filmproduktion aus?

Im Einzelnen werden neben den technischen Aspekten auch die Auswirkungen auf das Personal und deren Möglichkeiten zur Optimierung und Steigerung der Sicherheit betrachtet. Als erster Schritt wird zunächst die digitale Filmkamera definiert, um anschließend mögliche Auswirkungen der Kamerawahl auf die Sicherheit einer Produktion zu betrachten. Dies wird mit technischen Hintergründen vervollständigt, welche unterstützend zur Kamerawahl beitragen. Für einen DIT sollten sie als Mindestmaß der nötigen Kenntnisse gesehen werden.

In den darauf folgenden Kapiteln befasst sich die Arbeit mit den Strukturen und *Workflows* von der Produktions- bis in die Postproduktionsphase hinein. Ohne eine grundlegende Wertung durchzuführen, wird an verschiedenen Stellen die analoge Filmtechnik für einen Vergleich herangezogen. Alle Beschreibungen dieser Arbeit beziehen sich in erster Linie auf den deutschsprachigen Raum und gelten nur bedingt für *3D-Workflows*. Diese werden auf Grund des gesetzten Rahmens dieser Arbeit ausgespart.

## 1 Die digitale Filmkamera

Im Folgenden soll eine Definition der *digitalen Filmkamera* aufgestellt werden, welche die Auswahl der betrachteten Kamerasysteme eingrenzt. Für diese Definition dient *Super-35mm-Film* als Vergleichsaufnahmemedium, dessen Eigenschaften in Bezug auf den sog. *Filmlook* und die Handhabung herangezogen und analysiert werden.

### *Faktoren mit Einfluss auf den Filmlook*

#### a. Bildwandlergröße

Ein Hauptmerkmal des *Filmlooks* ist die geringe *Schärfentiefe*. Neben Blendenöffnung und Brennweite ist letztlich auch die Sensorgröße ein entscheidender Faktor zur Beeinflussung der Schärfentiefe. (s. Kapitel 2.2.5) Eine geringe Schärfentiefe bietet eine kreative Gestaltungsmöglichkeit, mit der zum Beispiel räumliche Tiefe bzw. Gliederung in einem zweidimensionalen Bild erzeugt werden kann. Zudem hat sich ein Sehempfinden entwickelt, bei dem Bilder mit geringer Schärfentiefe subjektiv oft als schöner empfunden werden. Somit entspricht die Bildwandlergröße der digitalen Filmkamera der belichteten Fläche bei Super-35mm-Film.

#### b. Auflösung

Beim *Negativfilm* hängt die Auflösungsfähigkeit von der Dichte des Filmkorns ab, welche vom verwendeten Material abhängig ist. In Hinblick auf die vorwiegend verwendeten *2K-Projektoren* in den Kinosälen, sollte die effektive Auflösung der digitalen Filmkamera auch bei mindestens 2K liegen.

#### c. Film- und variable Bildwiederholungsraten

Die digitale Filmkamera unterstützt wie ihr Vorbild Bildwiederholungsraten von 24 bzw. 25 fps bei progressiver Aufnahme. Dies bringt die filmtypisch begrenzte Wiedergabe von Bewegungen mit sich.

Wird bei einer Filmkamera die Bildrate verändert, so geschieht dies durch Änderung der Geschwindigkeit, in der das Filmmaterial Bild für Bild über die Filmbahn transportiert und belichtet wird. Die Belichtungszeit lässt sich zusätzlich anhand der *Spiegelumlaufblende* variieren. Die digitale Filmkamera sollte diese Variablen mit oder ohne Umlaufblende umsetzen können. Dies wird zum Beispiel erforderlich,

um etwaige *Flicker-Effekte* von Lampen aufzuheben, wofür die Belichtungszeit an die Netzfrequenz der Lampe angepasst wird.

d. Kontrastumfang

Der *Kontrastumfang* ist ein wesentlicher Faktor für kreatives Arbeiten und die Sicherstellung einer technisch korrekten Aufnahme. Modernes *Farbnegativ* besitzt einen Kontrastumfang von ca. elf Blendenstufen, dem die Videowelt lange Zeit hinterher hinkte. Mittlerweile erreichen digitale Kamerasysteme einen weit größeren Umfang. In jedem Fall sollten hier elf Blendenstufen maßgebend sein.

e. Farbraum und Farbtiefe

Als Vergleichsmedium soll an dieser Stelle das digitale Kino dienen. Die *DCI-P3*<sup>1</sup> gibt eine Vorgabe für den Farbraum digitaler Kinos, der von der digitalen Filmkamera mindestens abgedeckt werden sollte. Weiter sollte eine Mindestfarbtiefe von jeweils *12-Bit* für die Farbkanäle gelten.<sup>2</sup> Darüber hinaus sollte es möglich sein in Rohdaten aufzuzeichnen, um die bestmögliche Qualität in der Postproduktion zu gewährleisten.

f. Alias-Effekte

Ein Problem in der Videotechnik stellen *Alias-Effekte* dar. Diese treten bei der digitalen Abtastung von analogen Signalen auf. Ein Beispiel ist der *Moiré-Effekt*. Verringert wird der Effekt durch höhere Auflösungen und die unregelmäßige Anordnung der Pixel auf dem Chip. Bei der digitalen Filmkamera sind Moiré-Effekte auf ein vertretbares Maß reduziert.

### *Handhabung, Einstellparameter und Ergonomie*

g. Beurteilung des Bildes über einen Sucher

Um den Gewohnheiten des DoP gerecht zu werden, sollte neben einem Monitor auch ein Sucher zur Verfügung stehen. Dieser sollte sich darüber hinaus an dem optischen Sucher einer Filmkamera orientieren – wenn es sich nicht ohnehin um einen handelt – und über ein *Bildumfeld* verfügen. Wichtiger noch ist die Beurteilungsmöglichkeit in Bezug auf die Schärfe. Hierfür sollte der Sucher im Idealfall über die Auflösung des Aufnahmeformats mit *Pixelmapping*<sup>3</sup> verfügen.

---

<sup>1</sup> auch bekannt als SMPTE RP 431-2-2007

<sup>2</sup> vgl. DCI, Digital Cinema System Specification, 2008, 28

<sup>3</sup> 1:1 Abbildung der Pixel

#### h. Filmobjektive

In Hinblick auf gestalterische und qualitative Aspekte können an der digitalen Filmkamera hochwertige Filmobjektive mit hoher Vergütung verwendet werden. Dieses Kriterium bringt die Einschränkung auf die *1-Chiptechnologie* mit sich, da der Strahlengang der *3-Chiptechnologie* über ein Prisma geteilt und so der Abstand zwischen Objektiv und Chip verlängert würde. Filmobjektive wären somit nicht mehr nutzbar bzw. müssten angepasst werden.<sup>4</sup> Die meist verbreitete Objektivaufassung ist der *PL-Mount* der Firma ARRI, welche die digitale Filmkamera idealer Weise besitzt.

#### i. Medium für die Aufzeichnung

*Super-35mm-Negativfilm* wird üblicherweise auf 300m-Rollen verwendet, welche bei *4-Perf* einer Laufzeit von rund 11 min entsprechen. Diese Dimension sollte auch die Mindestaufzeichnungslänge der digitalen Filmkamera sein. Für das Arbeiten am Set sind jedoch längere Laufzeiten von Vorteil.

#### j. Ergonomieverlust durch Kabelverbindungen

Ein digitaler Dreh geht in den meisten Fällen mit mehr Kabeln an der Kamera einher. Diverse Monitore müssen mit einem Bild versorgt werden bzw. die Aufzeichnung findet eventuell mit einem externen Rekorder statt. Dennoch sollten die Kabelverbindungen nicht die Ergonomie in der Kameraarbeit beeinflussen und so reduziert wie möglich aufgebaut sein. Ohne externe Aufzeichnung ist das Bild auch analog oder digital über eine Funkstrecke sendbar. Dies ist allerdings mit deutlichem Qualitätsverlust behaftet.

#### k. Gewicht, Abmessungen, Schulterfähigkeit

Analog zum vorherigen Unterpunkt sollten Abmessung und Gewicht nicht die Ergonomie und Handhabung negativ beeinflussen. Insbesondere sollte die digitale Filmkamera im aufgebauten Zustand schulterfähig sein. Gerade auch in engen Motiven wirkt sich eine schwere und große Kamera negativ aus und erschwert die Arbeit.

#### l. Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit einer Kamera ist die Grundlage einer jeden professionellen Filmproduktion. Ist diese nicht gewährleistet, schlägt sich das auf die Faktoren Zeit, Geld und Qualität der Produktion extrem

---

<sup>4</sup> Schmidt 2009, 379

negativ aus. Die digitale Filmkamera ist mit einem Computer zu vergleichen, der potenziell anfälliger für Fehlfunktionen ist, als eine mechanisch arbeitende Filmkamera. Kommt es also bei einem Dreh zu ständigen Fehlfunktionen mit der Kamera, kann dies möglicherweise ganze Teile der Produktion gefährden.

Nicht alle genannten Aspekte können als Ausschlusskriterien gesehen werden. An einigen Stellen müssen Abstriche gemacht werden. Die bestimmenden Kriterien können in folgender Definition der digitalen Filmkamera zusammengefasst werden:

Die digitale Filmkamera besitzt eine effektive Auflösung von mindestens 2K auf einem *35mm-Chip*. Die Abtastung erfolgt dabei progressiv mit variablen Bildraten einschließlich 24 fps. Weiter muss das Kamerasystem in Sachen Kontrastumfang und Farbwiedergabe mindestens den Vorgaben durch Film entsprechen. Schließlich darf die digitale Filmkamera in Qualität, Handhabung und den damit verbundenen kreativen Möglichkeiten der *35mm-Filmkamera* nicht nachstehen, was insbesondere die Verwendung von Filmobjektiven notwendig macht.



## **2 Wahl der Kamera und des Aufnahmeformats in der Vorproduktionsphase**

Jedes Projekt hat unterschiedliche Anforderungen an Technik und Crew. Wird an dieser Stelle die falsche Wahl getroffen, kann es zu gravierenden Folgen für das gesamte Projekts führen. Die technische Verantwortung liegt hierbei letztlich beim DoP, der die Wahl der Kamera treffen muss – Einschränkungen von Seiten der Produktion sollen an dieser Stelle außer Acht gelassen werden. Dabei ist die Kamerawahl in Hinblick auf die Sicherstellung der kreativen und technischen Abläufe essenziell und wirkt sich somit auch auf die Qualität des Endprodukts aus.

Grundsätzlich sollte der DoP bei Unsicherheiten mit neuen Techniken und Kameras umso engeren Kontakt zur Postproduktion und dem DIT herstellen. So kann eine hinreichende Abstimmung mit dem Postproduktionshaus erfolgen und der richtige *Workflow* gefunden werden. Gerade auch bei technischen Einzelheiten, welche die Kamera betreffen, sind der DIT und das Postproduktionshaus Ansprechpartner für den DoP. Kameraspezifische Fehlertypen können dabei Entscheidungskriterien sein. Hierbei können Testdrehs mit anschließender Auswertung hilfreich sein.

### **2.1 Mögliche Auswahlkriterien**

In den Entscheidungsprozess bei der Kamerawahl fließen neben technischen Kriterien und Einschränkungen von Seiten der Produktion auch subjektive Argumente des jeweiligen DoP. Das sind zum Beispiel eigene Erfahrungen mit bestimmten Kameras, welche zu einem Gefühl der Sicherheit führen, oder aber ein bestimmter *Look*, welchen der DoP verfolgt. Alles in allem kann keine allgemeingültige Aussage gemacht werden, welche Kamera die richtige Wahl für ein bestimmtes Projekt ist. Unabhängig von Punkten wie der Bildqualität oder dem subjektiven Bildeindruck als entscheidendes Moment, sollen an dieser Stelle einige Gedanken genannt werden, die im Zusammenhang mit den technischen Eigenschaften einer *digitalen Filmkamera* stehen.

Ist der Film für die Kinoauswertung geplant, ist die *2K-Projektion* als Referenz für die minimale effektive Auflösung des Aufnahmeformats zu sehen. *HD-Kameras* finden, wegen der Nähe zur 2K-Auflösung, in Ausnahmefällen auch Verwendung bei Kinoproduktionen. Gelten jedoch allein die Fakten *35mm-Bildsensor* und Auflösung von mindestens 2K als

Ausschlusskriterium reduziert sich die Zahl der auf dem Markt zur Verfügung stehenden Kameras erheblich.

Ist zum Beispiel eine aufwendige Postproduktion geplant, kann der aus der Kamerawahl resultierende *Workflow* ebenfalls ein Auswahlkriterium sein. Aufwändige Spezialeffekte erfordern möglicherweise eine höhere Auflösung, höhere *Bit-Quantisierung* oder eine *High-Speed-Kamera*. Darüber hinaus bestehen für neue Kamerasysteme eventuell nur unausgereifte Workflows, die der DoP vermeiden möchte, um die Sicherheit der Produktion nicht zu gefährden.

Weitere wichtige technische Kriterien sind Zuverlässigkeit, Bedienfreundlichkeit, Gewicht und Mobilität. Eine Kamera, die ständig abstürzt oder Fehler verursacht, ist während eines Drehs mit einem Team von über 40 Mitgliedern plus Schauspielern und womöglich teuren Spezialeffekten nicht zu gebrauchen. Selbst wenn *Verleiher* und Kamerahersteller während der Drehzeit bei der Problemfindung zur Seite stehen, bedeuten technische Probleme immer Zeitverlust und das wiederum kostet Geld bzw. zieht Einschränkungen in der Kreativarbeit mit sich. Weiter kann die Bedienfreundlichkeit der Kamera dazu beitragen, gravierende Fehler, beispielsweise im *Kamera-Setup*, vorzubeugen. Diese sind unbedingt zu vermeiden, da das gedrehte Material für diese Produktion und den abgestimmten Workflow unbrauchbar werden könnte. Besonders unter Berücksichtigung der teilweise hektischen Umstände an einem Filmset kann in sofern eine einfachere Menüführung zur technischen Sicherheit in der digitalen Kinematografie beitragen.

Abschließend können auch konstruktionstechnisch bedingte Eigenschaften, die den Kameratyp betreffen, in den Entscheidungsprozess einfließen. Das meint insbesondere Eigenschaften, die auf den verwendeten Bildwandler oder das Aufnahmeformat zurückzuführen sind. Sowohl der DoP als auch der DIT müssen mit diesen Grundlagen vertraut sein, um mögliche Probleme und Anfälligkeiten der Systeme abschätzen zu können.

## 2.2 Technische Grundlage der verwendeten Bildwandler

Allgemein wird in einem Bildwandler *Lichtintensität* in ein elektrisches Signal umgesetzt. Unter Wirkung des *Photoeffekts* löst die *Lichtenergie* Ladungsträger aus einem Metall bzw. bildet diese in einem Halbleitermaterial. In einer digitalen Kamera wird anschließend das elektrische Signal bzw. eine Spannung mit Hilfe eines *A/D-Umsetzers*<sup>5</sup> in ein digitales

---

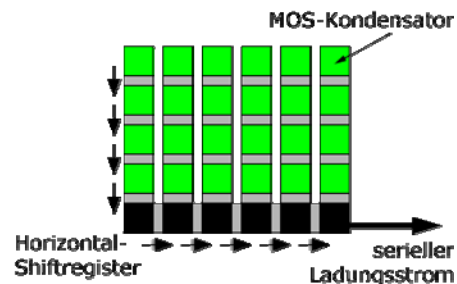
<sup>5</sup> Analog/Digital-Umsetzer

Signal gewandelt.<sup>6</sup> Aktuell finden zwei auf Halbleitermaterial basierende Bildwandlertechniken Verwendung in *digitalen Filmkameras*. Dies sind der CCD- und der *CMOS-Bildwandler*.<sup>7</sup>

### 2.2.1 CCD-Bildwandler

Der *CCD-Bildwandler (Charge Coupled Device)*<sup>8</sup> ist ein Flächensensor und besitzt *MOS-Kondensatoren*<sup>9</sup> als Speicherzellen, die durch sog. *Potentialwälle* von einander getrennt werden. Dabei bilden diese Speicherzellen vertikale Reihen, welche sich wiederum zu einem zweidimensionalen Array zusammensetzen. Dieses Pixel-Array wird zeilenweise über ein horizontales *Shiftregister* ausgelesen, indem die gesammelten Ladungen vertikal von Speicherzelle zu Speicherzelle weitergegeben werden. (s. Abb. 1) Während dieses Vorgangs werden die lichtempfindlichen Zellen für den Ladungstransport genutzt und müssen somit lichtdicht abgedeckt sein. Ausgegeben wird ein serieller Ladungsstrom. Dieses Prinzip des wechselnden Ladungstransports mit anschließender Ausgabe über das Shiftregister wäre für Videoanwendungen nicht anwendbar, da der Ausleseprozess zu viel Zeit in Anspruch nähme. Es gibt drei verschiedene CCD-Typen, die sich in der Umsetzung des Auslesevorgangs unterscheiden.<sup>10</sup>

Abbildung 1: FF-CCD



#### Frame Transfer CCD

Den einfachsten Aufbau der drei Typen hat der *Frame Transfer CCD (FT-CCD)*. Hier wird zwischen dem Sensorbereich und dem horizontalen *Shiftregister* ein lichtdicht abgedeckter Speicherbereich ergänzt. Bevor Ladungen über das Shiftregister ausgelesen werden, werden die gesammelten Ladungen des gesamten Sensorbereichs zwischengespeichert. Den Speicherbereich bilden ebenfalls *MOS-Kondensatoren*. So findet der eigentliche Auslesevorgang statt, während der Sensorbereich bereits neue Ladungen sammelt. (s. Abb. 2 I.)

<sup>6</sup> vgl. Schmidt 2009, 356

<sup>7</sup> vgl. Schwider In: Laser Technik Journal, 2006, 52-53

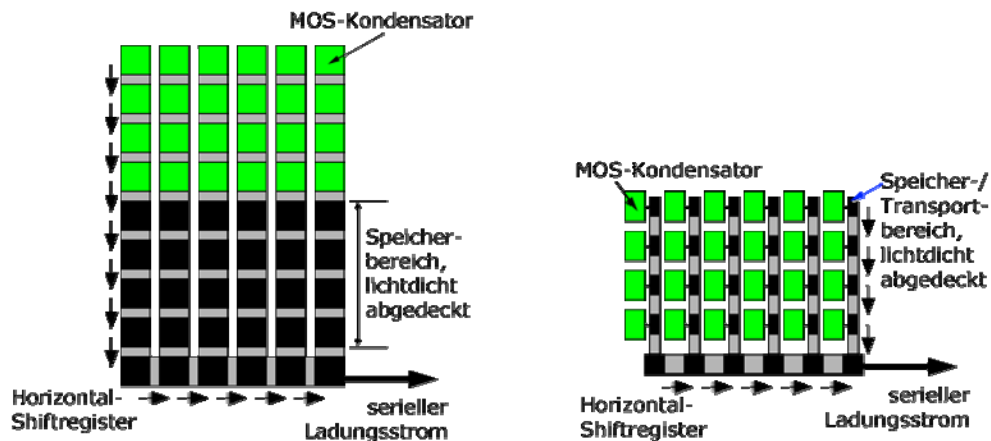
<sup>8</sup> dt. ladungsgekoppeltes Bauelement

<sup>9</sup> Metal Oxide Semiconductor, dt. Metall-Oxid-Halbleiter

<sup>10</sup> vgl. Schmidt 2009, 361 ff

Bei diesem Prinzip wird eine hohe Pixeldichte erreicht. Die Sensorfläche muss jedoch weiterhin während des Ladungstransfers in den Speicherbereich lichtdicht abgedeckt werden, was mit einer mechanischen Blende realisiert wird.

Abbildung 2: FT-CCD (links), IT-CCD (rechts)



### Interline Transfer CCD

Zwei der in dieser Arbeit betrachteten Kamerasysteme verwenden einen *Interline Transfer CCD (IT-CCD)*. Bei diesem Typ wird der Speicher- und Transportbereich auf der Sensorfläche zwischen den Pixeln untergebracht und ist lichtdicht abgedeckt. (s. Abb. 2 r.)

So wird ein zeitgleiches Verschieben aller gesammelten Ladungen in den Speicherbereich ermöglicht, was dazu führt, dass eine lichtdichte Abdeckung der Pixel selbst nicht mehr notwendig ist. Die Ladungsverschiebung an dieser Stelle liegt in Dimensionen unter  $1\mu\text{s}$ , sodass die Belichtung während des Verschiebevorgangs vernachlässigt werden kann. Die Integrationsdauer des Sensors verlängert sich zusätzlich und die Verwendung im professionellen Videobereich wird ermöglicht.<sup>11</sup>

Die enge Bauweise innerhalb des Sensorbereichs führt allerdings zu zwei wesentlichen Problemen des Sensors. Zum einen wird die lichtwirksame Sensorfläche reduziert, was sich negativ auf die Pixeldichte und die Empfindlichkeit des Sensors auswirkt, und zum anderen wird der Sensor anfällig für den sog. *Smear-Effect*<sup>12</sup>. Bei diesem Effekt verursachen sehr helle Lichtquellen vertikal nach oben verlaufende Smear-Streifen im

<sup>11</sup> vgl. Schmidt 2009, 365f

<sup>12</sup> dt. Schlieren-Effekt

Bild. (s. Abb. 3) Diese entspringen der Lichtquelle und sind darauf zurückzuführen, dass der Speicher- und Transportbereich technisch nicht völlig von Licht zu isolieren ist. Die Speicherzellen selbst setzen demnach Licht in Ladungen um und es kommt zur Ladungsvermehrung aller Ladungen, welche durch diese Speicherzellen transportiert werden.<sup>13</sup>

Um beide Effekte zu reduzieren, wird die *On-Chip-Lens-Technik (OCL)* angewandt. Hierbei werden kleine Linsen zur Bündelung des auftretenden Lichts auf die bildaktiven Speicherzellen aufgetragen. Dabei sind die Linsen größer als die Speicherzellen selbst und lenken das Licht vom Speicher- und Transportbereich weg. Gleichzeitig wird durch dieses Verfahren die Empfindlichkeit des Sensors gesteigert.<sup>14</sup>

Ein weiterer negativer Effekt, auf den alle CCD-Typen zunächst gleichermaßen anfällig sind, ist der *Blooming-Effect*<sup>15</sup>. Er ist auf die Bauart der Speicherzellen zurückzuführen. Diese bilden *Potenzialtöpfe*, die bei übermäßiger Belichtung gewissermaßen überlaufen. Ein Teil der Ladungen geht in die benachbarten Pixel über und es entsteht ein ungewolltes Strahlen. Beim *IT-CCD* wird der Blooming-Effect durch eine erhöhte Spannung an den sog. *Potenzialwällen* gemindert, die dazu führt, dass die Ladungen in einem gewissen Umfang in das sog. *Substrat* abgeleitet werden.<sup>16</sup>

Abbildung 3: Smear-Effect



<sup>13</sup> vgl. Schmidt 2009, 366 f

<sup>14</sup> vgl. Schmidt 2009, 367

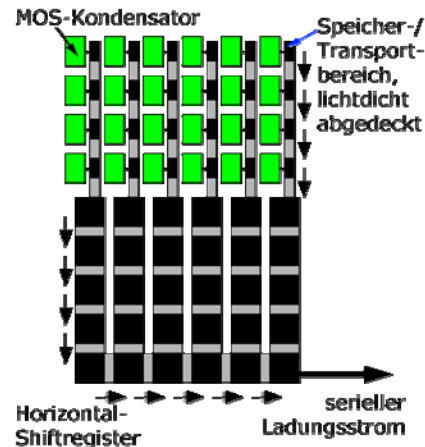
<sup>15</sup> dt. Überstrahlungs-Effekt

<sup>16</sup> vgl. Schmidt 2009, 367 und ITWissen.info: Blooming

*Frame Interline Transfer CCD*

In diesem Bildwandler werden gewissermaßen die Vorteile des *Frame-Transfer* und des *Interline-Transfer-CCD* vereint. Aus dem Speicher- und Transportbereich auf der Sensorfläche werden die Ladungen direkt in einen weiteren Speicherbereich unterhalb des Sensorbereichs verschoben. (s. Abb. 4) So wird die Verweilzeit der Ladungen im Sensorbereich verkürzt und die Anfälligkeit auf den *Smear-Effect* verringert. Vermutlich aus Kostengründen in Verbindung mit dem höheren technischen Aufwand findet dieser Chiptyp keine Verwendung in den Kamerasystemen der digitalen Kinematografie.<sup>17</sup>

Abbildung 4: FIT-CCD

*Zusammenfassung der Anfälligkeit des CCD auf bestimmte Fehlertypen*

Der *CCD-Bildwandler* ist auf Grund seiner Bauweise, anfällig auf den *Blooming-Effect*. Es gibt Wege den Effekt zu mindern, jedoch wird es schwer möglich sein, ihn bei extremen Belichtungssituationen völlig zu beheben. Wie anfällig eine Kamera auf diesen Effekt ist, kann allgemein nicht beurteilt werden und ist im speziellen Fall zu prüfen.

Für den *Smear-Effect* ist lediglich der *IT-CCD* empfindlich. Die Typen *Full Frame* und *Frame Transfer* sind wegen der notwendigen mechanischen Blende nicht von diesem Effekt betroffen. Der *FIT-CCD* ist wegen der hohen Geschwindigkeit des Auslesevorgangs vernachlässigbar vom *Smear-Effect* betroffen.

Der *Moiré-Effekt* ist kein spezifisches Problem des *CCD-Bildwandlers*. Er tritt auf, sobald zweierlei ähnliche Muster aufeinander treffen. Überlagern sich diese versetzt zu einander, entstehen neue Muster.<sup>18</sup> Im Fall der digitalenameratechnik wird der Effekt durch die Rasterabtastung verursacht, wenn ähnliche Muster im Bild auftreten. Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, wird der Effekt durch eine höhere Auflösung oder ein unregelmäßiges Raster der Pixel auf dem Chip verringert. Durch die vergleichsweise hohe Auflösung des *1080p-Standards* wird der *Moiré-Effekt* bereits gemindert. Zusätzlich wird in beiden Bildwandlertechniken ein

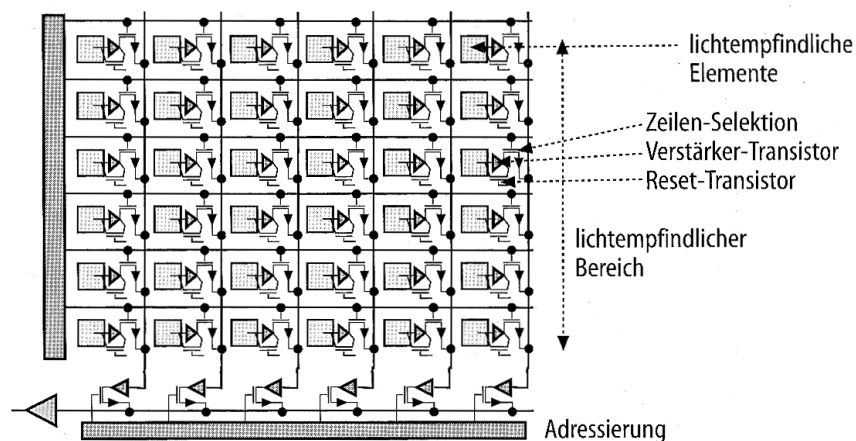
<sup>17</sup> vgl. Schmidt 2009, 367 f

<sup>18</sup> vgl. Nikoneurope-de.custhelp.com: Was ist Moiré?

### 2.2.2 CMOS-Bildwandler

Fortschrittliche CMOS-Bildwandler verfügen über sog. *Aktiv-Pixel-Sensoren*, die über drei und mehr Transistoren verfügen. (s. Abb. 5) Neben der Adressierung der Pixel werden so die Verstärkung und die Ableitung der Ladung umgesetzt. Einhergehend mit der direkten Verstärkung im Bildpunkt, werden die gesammelten Ladungen in einen Spannungswert umgesetzt, welcher weiterverarbeitet werden kann – ein weiterer, wesentlicher Unterschied zum CCD-Sensor. Mit vier oder fünf Transistoren sind wiederum weitere Signalverarbeitungsprozesse, wie Rauschreduktion und *A/D-Wandlung*, umsetzbar.<sup>22</sup>

### Abbildung 5: CMOS-Funktionsprinzip

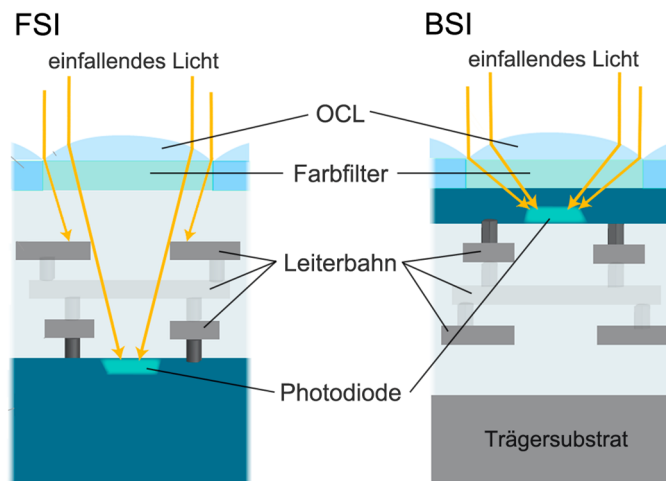


<sup>22</sup> vgl. Schmidt 2009, 371

Dank der kompakten Bauweise auf dem Chip wird zusätzlich ein geringerer Stromverbrauch erzielt. Allerdings ist die lichtwirksame Sensorfläche durch die vielen Bauelemente reduziert, was sich, wie beim *IT-CCD*, negativ auf die Pixeldichte und die Empfindlichkeit des Sensors auswirkt. Als Lösung kann auch hier die *On-Chip-Lens-Technik (OCL)* angewandt werden.<sup>23</sup>

Zur weiteren Steigerung der Empfindlichkeit trägt die Sensorbauform *Backside Illumination (BSI)*<sup>24</sup> bei. Sie wird ebenfalls in der CCD-Technik angewendet und widmet sich dem Problem, dass bei der *Frontside Illumination (FSI)*<sup>25</sup> die Leiterbahnen auf der Oberseite des Chips verlaufen und somit gewissermaßen Schatten werfen. Diese Schatten führen schließlich dazu, dass lichtempfindliche Fläche nicht genutzt werden kann. In der BSI-Technik werden die lichtempfindlichen Dioden auf der Rückseite des Sensors angebracht und von der Rückseite belichtet, sodass die Leiterbahnen unter den Dioden verlaufen und keine Schatten mehr werfen. (s. Abb. 6) Dies führt zu einer Steigerung der Empfindlichkeit des Sensors und ermöglicht strukturbedingt gleichzeitig eine engere Anordnung der Pixel und somit eine Steigerung der Pixeldichte.<sup>26</sup>

Abbildung 6: Front- und Backside-Illuminated-Sensor<sup>27</sup>



<sup>23</sup> vgl. Schmidt 2009, 372

<sup>24</sup> dt. rückseitige Belichtung

<sup>25</sup> dt. vorderseitige Belichtung

<sup>26</sup> vgl. Cameratechnica.com: Technology Demystified: Backside Illuminated Sensors u.

Cnet.de: Schneller, heller, smarter: Wie BSI-Sensoren die Digicams revolutionieren

<sup>27</sup> Grafik wurde angepasst

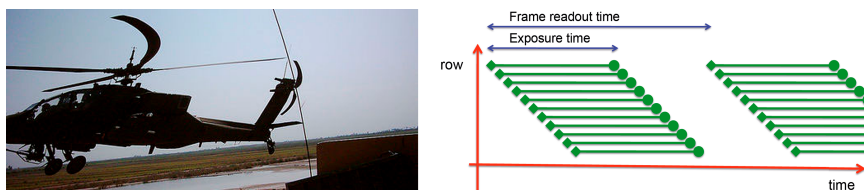


### *Zusammenfassung der Anfälligkeit des CMOS auf bestimmte Fehlertypen*

Der *CMOS-Bildwandler* ist auf Grund seiner Bauweise nicht anfällig auf den *Blooming-Effect* und den *Smear-Effect*. Der *Moiré-Effekt* verhält sich beim CMOS analog zum CCD. Jedoch scheint die *Mosaik-Struktur* des sog. für die Farbseparation verwendeten *Bayer-Patterns* (s. Kapitel 2.2.3) weniger anfällig auf Moiré-Effekte als *RGB-Streifenfilter* zu sein<sup>28</sup>.

Ein Problem stellt in der CMOS-Technik der *Rolling-Shutter-Effect*<sup>29</sup> dar, der aus dem Auslesevorgang hervorgeht. Die in dieser Arbeit betrachteten Kamerasysteme, welche auf der CMOS-Technik basieren, verwenden entweder einen globalen oder einen rollenden, elektronischen Verschluss. Beim rollenden Verschluss werden die Pixel nach der Belichtung zeilenweise ausgelesen und zurückgesetzt. Daraus folgt eine nicht zeitgleiche Belichtung der Pixelreihen, die zur fehlerhaften Darstellung bei schnellen Bewegungen im Bild bzw. schnellen Schwenks führt. Abbildung 7 zeigt links ein mit *Rolling-Shutter* aufgenommenes Bild, bei dem die schnelle Bewegung des Rotors zu einer gekrümmten Darstellung führt. Auf der rechten Seite wird die schematische Darstellung des Ausleseverfahrens gezeigt. Wie stark der Effekt auftritt, hängt allein vom zeitlichen Abstand des Zurücksetzens der Zeilen untereinander und somit von der Geschwindigkeit der Signalverarbeitung auf dem Chip ab. Je schneller die Signalverarbeitung ist, desto geringer fällt der Rolling-Shutter-Effect aus. Dies muss allerdings für jedes Kamerasystem separat betrachtet werden.

Abbildung 7: Rolling-Shutter-Effect<sup>30</sup>



Beim *Global-Shutter*<sup>31</sup> erfolgt das Zurücksetzen der Pixel über das ganze Array gleichzeitig. Dabei ist der globale elektronische Verschluss so gelöst, dass alle Pixel im gleichen Zeitraum belichtet werden. Dies kann, wie beim *IT-CCD*, mit Speicherbereichen gelöst werden. Neben dem Global-Shutter kann auch zu einer Hybridlösung gegriffen werden, um den Effekt zu

<sup>28</sup> vgl. Silvio Reichenberg In: Interviewprotokoll, 1

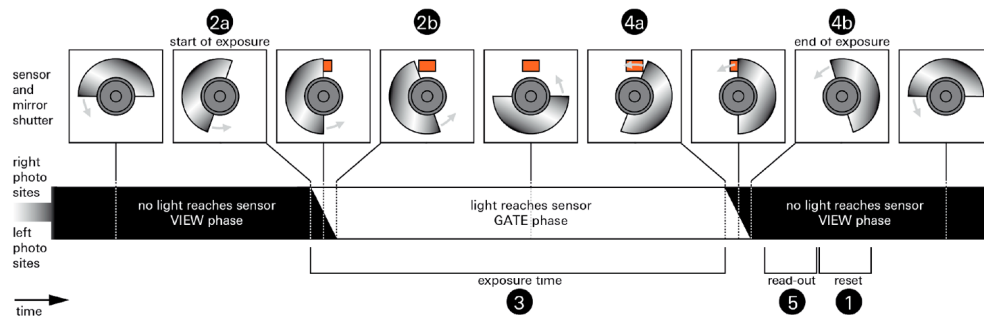
<sup>29</sup> dt. Rollender-Verschluss-Effekt

<sup>30</sup> Bild links und Grafik rechts wurden angepasst

<sup>31</sup> dt. globaler Verschluss

vermeiden. Denkbar wäre ein Rolling-Shutter in Kombination mit einer mechanischen Blende, sodass der Chip nur dem Licht ausgesetzt ist, wenn sich alle Pixel im Belichtungszustand befinden. In der Dunkelphase des Chips werden die Pixel ausgelesen und zurückgesetzt.<sup>32</sup> Abbildung 8 zeigt dieses Vorgehen am Beispiel der ARRI ALEXA STUDIO.

Abbildung 8: Hybridlösung mit Umlaufblende



### 2.2.3 Farbseparation

Für die Farbseparation gibt es für *CCD-* und *CMOS-Bildwandler* gleichermaßen verschiedene Techniken. Alle unterliegen jedoch dem Prinzip, ein Bild aus drei *RGB-Farbauszügen* zusammenzusetzen. Eine in diversen professionellen *HD-Camcordern* und *EB-Kameras*<sup>33</sup> angewandte Technik ist die *3-CCD-Technik*, welche den Strahlengang mittels Prismenblock auf jeweils einen CCD für den Rot-, Blau- und Grünkanal aufteilt. Aufgrund des verlängerten Lichtwegs findet diese Technik jedoch keine Verwendung in der digitalen Kinematografie.<sup>34</sup>

Bei der Verwendung von nur einem Chip gibt es die Möglichkeit der Farbseparation durch *RGB-Filter* auf dem Chip. Dabei werden die genannten Filter direkt auf die Sensorpixel aufgetragen. Somit spricht jeder Pixel auf einen bestimmten Wellenlängenbereich an und die sog. *Sub-Pixel* können schließlich zu einem Bildpixel interpoliert werden.

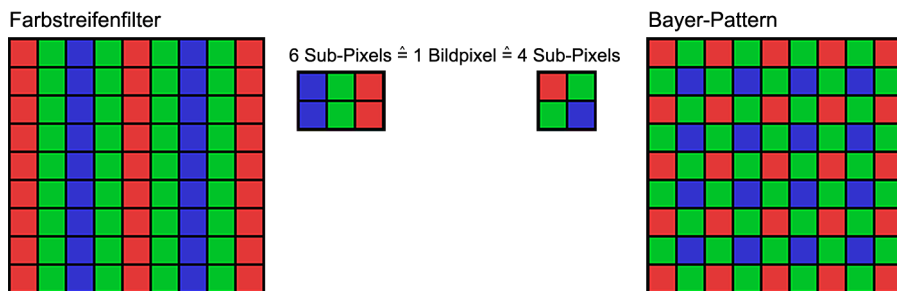
Die in dieser Arbeit betrachteten Kamerasysteme mit CCD-Bildwandlern verwenden RGB-Streifenfilter, mit denen spaltenweise nur rotes, grünes oder blaues Licht erfasst und in Ladung umgesetzt wird. (s. Abb. 9) Die einzelnen Spalten werden anschließend dem entsprechenden Farbauszug zugeordnet. Bei den in dieser Arbeit verwendeten Systemen bilden jeweils sechs Sub-Pixel einen Bildpunkt. Es soll erwähnt werden, dass es darüber hinaus Varianten mit lediglich drei Sub-Pixel gibt.

<sup>32</sup> vgl. ARRI Broschüre: ALEXA Studio, Electronic and Mirror Shutter, 6

<sup>33</sup> EB - elektronische Berichterstattung

<sup>34</sup> vgl. Schmidt 2009, 376-379

Abbildung 9: RGB-Streifenfilter und Bayer-Pattern



Mit Ausnahme der SONY F-65 verwenden die in dieser Arbeit behandelten Kameras mit CMOS-Technologie ein *Bayer-Pattern* zur Farbseparation. Im Unterschied zum RGB-Streifenfilter entsteht bei diesem Separationschema ein *RGB-Mosaik*. Zwei Grünpixel treffen dabei jeweils auf einen Pixel für Rot und Blau. (s. Abb. 9) Durch Interpolation werden auch hier die vier Pixel zu einem Bildpixel zusammengefasst. Der Erfinder *Dr. Bryce E. Bayer* versuchte sich so dem Sehvermögen des menschlichen Auges in Bezug auf Wahrnehmung von Helligkeit und Farbe anzunähern. Dieses ist in der Helligkeitswahrnehmung empfindlicher als in der Farbwahrnehmung. Der Schwarz-Weiß-Anteil in einem RGB-Bild wird am meisten durch den Grünanteil ausgemacht, weshalb auch 50% des Bayer-Mosaiks grünempfindlich sind.<sup>35</sup>

Bei beiden Farbseparationsvarianten werden jeweils die Sub-Pixel zu einem Bildpixel zusammengefasst. Daraus folgt, dass die Bildpixelanzahl nur einem viertel bzw. sechstel der gesamten (nativen) Pixelanzahl des Bildsensors entspricht. Die Bayer-Mosaikstruktur hingegen kann durch verschiedene Algorithmen so aufgelöst werden, dass die effektive Auflösung wieder auf rund zwei Drittel der nativen Pixel des Chips gesteigert werden kann.<sup>36</sup> Dabei werden die einzelnen Sub-Pixel mehreren Pixelgruppen zugeordnet. Im Fall der RED ONE wird sogar eine Steigerung auf drei Viertel erzielt. (s. Kap. 2.4)

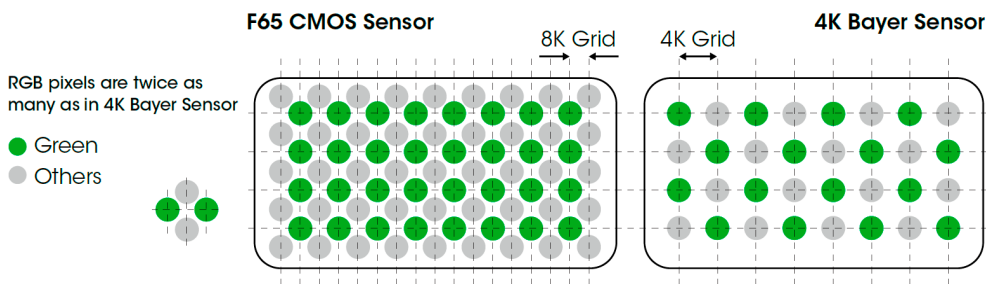
Bei der SONY-F65 kommt eine weitere Technik zum Einsatz, die auf dem Bayer-Pattern basiert. Hier wird die Schachbrettstruktur aufgelöst und zu einer Wabenanordnung weiter entwickelt. (s. Abb. 10) Diese Struktur bringt eine effektivere Nutzung der bestehenden Fläche mit sich und gleichzeitig ist mit einer stärkeren Minderung von etwaigen *Moiré-Effekten* zu rechnen. Der hier speziell beschriebene Sensor der F-65 besitzt ein

<sup>35</sup> vgl. Schmidt 2009, 379 u. Weisscam.com: Bayer Pattern (debayering)

<sup>36</sup> vgl. Weisscam.com: Bayer Pattern (debayering)

*8K-Grid* bei einer effektiven Auflösung von *4K*. Letztlich wird so ermöglicht, dass für jeden Bildpixel ein Grün-Pixel zur Verfügung steht. Dies spiegelt sich insbesondere in der Schärfenwiedergabe wieder.<sup>37</sup>

Abbildung 10: F-65-CMOS-Sensor im Vergleich zum 4K-Bayer-Sensor



#### 2.2.4 Dynamik und Rauschverhalten

Im Kontext der Kinematografie ist die *Dynamik* bzw. der *Kontrastumfang* von großer Bedeutung, da sie sich auf die Art der Lichtsetzung in der Kameraarbeit auswirkt. Ist der gegebene Kontrastumfang stark begrenzt, kann dies zu großen Problemen in bestimmten Motiven oder Lichtsituationen führen, da der Szenenkontrast möglicherweise nicht immer anpassbar ist.

Die Dynamik einer elektronischen Kamera wird grundsätzlich durch zwei Faktoren definiert. Das ist zum Ersten der Maximalpegel als obere Begrenzung – entspricht der Maximalladung im einzelnen Bildpunkt – und zum Zweiten das Rauschen als untere Begrenzung. Es ergibt sich ein *Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)*, welches jedoch nicht mit dem Kontrastumfang selbst gleichgesetzt werden darf.<sup>38</sup> Es beschreibt das Verhältnis der Leistung des Rauschsignals zur Leistung des Nutzsignals, welches aus dem Maximalpegel resultiert.<sup>39</sup> Das SNR wird oft von Herstellern angegeben, um die Rauscheigenschaften der Kamera zu beschreiben. Ohne jedoch weitere Informationen über das Nutzsignal zu kennen, sagt dieses Verhältnis nur wenig über den eigentlichen Kontrastumfang aus, da es sich lediglich um ein Verhältnis handelt.

Abbildung 11 zeigt die Gleichung zur Berechnung des Signal-Rausch-Verhältnisses, welches üblicherweise logarithmisch in dB angegeben wird. Zusammen mit dem SNR wird von den Herstellern in der Regel auch die Dynamik in Blenden angegeben.

<sup>37</sup> vgl. Sony In Broschüre: F-65 – Digital Motion Picture Camera, 4

<sup>38</sup> vgl. Schmidt 2009, 372 ff

<sup>39</sup> vgl. ITWissen.info: S/N (Signal-Rausch-Verhältnis)

Abbildung 11: Berechnung des Signal-Rausch-Verhältnisses

$$\text{SNR (dB)} = 10 \log \frac{\text{Leistung Nutzsignal}}{\text{Leistung Rauschsignal}}$$

Für beide Technologien stehen verschiedene Lösungen zur Verfügung, um das Rauschverhalten des jeweiligen Systems zu optimieren. Auf die verschiedenen Rauscharten, deren Ursachen und deren Minderung soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden. Grundsätzlich können die aktuellen digitalen Filmkameras – sowohl *CCD*- als auch *CMOS-Technik* – in puncto „Rauschen“ und damit verbunden auch in der Dynamik miteinander konkurrieren. Das Rauschverhalten einer Kamera muss allerdings im Einzelfall geprüft werden.

Um die Dynamik eines CMOS-Sensors zu steigern, kann seine Bauform ausgenutzt werden. Diese ermöglicht im Unterschied zum CCD-Bildwandler ein sog. teillineares Auslesen des Sensors, bei dem ein sehr großer Szenenkontrast umgesetzt werden kann. Hierfür werden die gesammelten Ladungen pixelselektiv geregelt und über den *Reset-Transistor* abgeleitet. Die Signale können dabei in Abhängigkeit von den Nachbarpixeln beeinflusst werden.<sup>40</sup> Eine weitere Möglichkeit zur Erweiterung der Dynamik stellt die *HDR-Aufnahme* dar. HDR ist bekannter aus der Fototechnik. Dort werden von einem Motiv mehrere Aufnahmen mit unterschiedlicher Belichtungszeit gemacht. Dieses Prinzip wird zum Beispiel bei der RED SCARLET-X, die in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet wird, angewendet. Hier werden pro Bild zwei unterschiedliche Belichtungen gemacht und anschließend zu einem Bild zusammengefügt. So kann mit dieser Kamera ein Kontrastumfang von bis zu 18 Blenden erreicht werden.

#### 2.2.5 Chipgröße und Auflösung

Nach der Definition aus Kapitel 1 entspricht die Chipgröße einer *digitalen Filmkamera* der belichteten Fläche von *S-35mm-Film*. Bei den verschiedenen Kamertypen dieser Arbeit gibt es an dieser Stelle nur kleine Größenunterschiede. Im Wesentlichen variiert lediglich die native Pixelanzahl auf dieser Fläche. (s. Kap. 2.4)

#### Schärfentiefe und Bildfeldgröße

In der digitalen Kinematografie wird meist der sog. *Filmlook* angestrebt. Ein entscheidendes Element dieses Looks ist die geringe *Schärfentiefe* bei *S-35mm-Film*. Die Schärfentiefe beschreibt den Bereich, welcher vor und

---

<sup>40</sup> vgl. Schmidt 2009, 373 f

hinter der fokussierten Schärfenebene noch als scharf wahrgenommen wird. Dabei wird sie durch vier Faktoren bestimmt, die hier in kurzen Merksätzen zusammengefasst werden sollen<sup>41</sup>.

a. Objektentfernung / Fokus

Je näher das Objekt der Kamera ist, desto geringer wird die Schärfentiefe.

b. Blendenöffnung

Je geöffneter die Blende ist, desto geringer wird die Schärfentiefe.

c. Brennweite

Je länger die Brennweite ist, desto geringer wird die Schärfentiefe.

d. Punktunschärfekreis

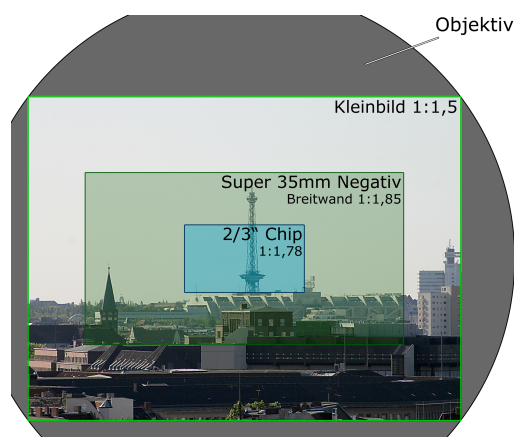
Je kleiner der zulässige Durchmesser des *Punktunschärfekreises* ist, desto geringer ist die Schärfentiefe.

Der zulässige Durchmesser des Punktunschärfekreises wiederum richtet sich in der Digitaltechnik nach der Pixelgröße und deren Abstand zueinander.

Das bedeutet: Je kleiner die Pixel sind und je enger die Pixel zusammen liegen, desto geringer wird der zulässige Durchmesser des Punktunschärfekreises und somit auch die Schärfentiefe.

Wird nun das Aufnahmeformat bzw. die Chipgröße als variabler Faktor hinzugezogen, ist festzustellen, dass sich bei gleicher Brennweite die *Bildfeldgröße* und somit auch der *Bildwinkel* verändert. So wird die gleiche Brennweite bei kleinerem Bildfeld bildfüllender. (s. Abb. 12) Um nun einen Vergleich in Bezug auf die Schärfentiefe herstellen zu können, sind zwei Einflüsse zu beachten. Ist von einer konstanten Auflösung auszugehen bzw. der gleichen Anzahl der Pixel, steigt die Pixeldichte auf dem kleineren Chip. Das bedeutet, die Pixel, ihr Zwischenraum und der zulässige Durchmesser des Punktunschärfekreises werden kleiner. Demnach wird auch die Schärfentiefe geringer.

Abbildung 12: Bildfeldgrößenvergleich



<sup>41</sup> Merksätze vgl. Film & Tv Kameramann, Jahrbuch Kamera 2012, 543

Um einen Vergleich herstellen zu können, müssen die Bildausschnitte der beiden Bildfeldgrößen so aneinander Angepasst werden, dass die gleiche Einstellungsgröße verglichen wird. Ausgehend von einem konstanten Abstand zum Objekt, wird für einen kleineren Aufnahmechip eine kürzere Brennweite benötigt, um die gleiche Einstellungsgröße zu erhalten. Dieser Umstand bringt eine durch die kürzere Brennweite vergrößerte Schärfentiefe mit sich.

Nun stehen sich die beiden Faktoren zulässiger Punktunschärfekreis mit verringernder und die Änderung der Brennweite mit vergrößernder Wirkung gegenüber. Hierbei ist die Änderung der Brennweite der schwerwiegendere Faktor auf die Schärfentiefe<sup>42</sup>.

Je größer die Bildfeldgröße ist, desto geringer wird die Schärfentiefe.

## 2.3 Technische Grundlagen der Aufnahmeformate

Wie bereits angemerkt kann der aus der Kamerawahl resultierende *Workflow* ein Auswahlkriterium darstellen. Bei diesen Fragen sollte in jedem Fall der Kontakt zum Postproduktionshaus gesucht werden. Dennoch soll in diesem Abschnitt einige Grundlagen und Zusammenhänge, in Bezug auf Möglichkeiten der Aufzeichnung digitaler Filmkameras, betrachtet werden.

### 2.3.1 Farbraumnormen

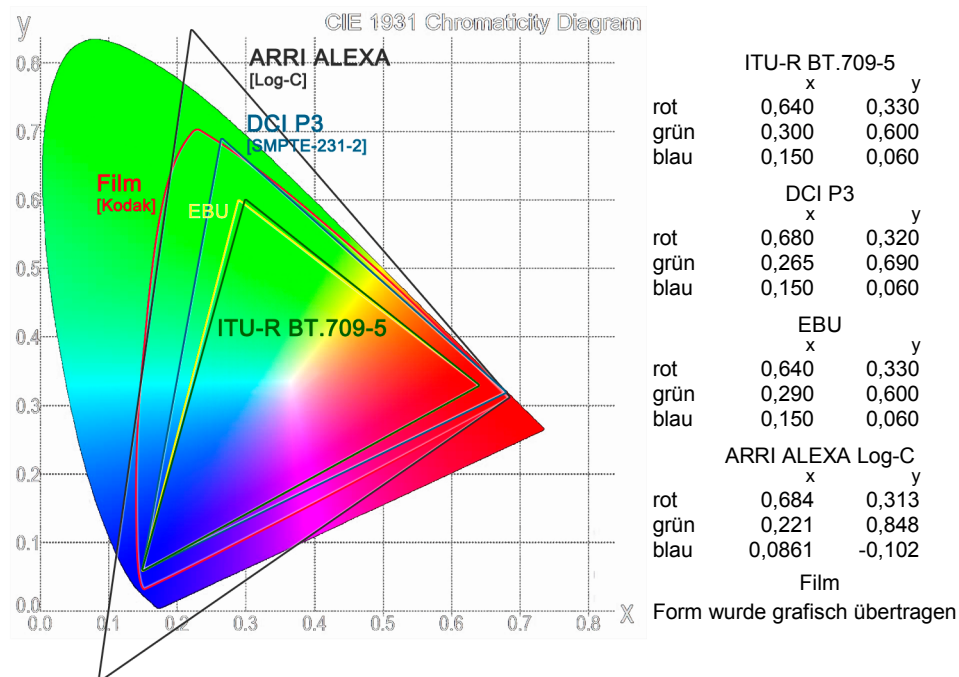
Für die Aufzeichnung von analogen und digitalen Farbbildern gibt es gleichermaßen verschiedene Farbraumnormen, die im Folgenden mit einander verglichen werden sollen. Die Farbwahrnehmung ist bekanntlich von Mensch zu Mensch unterschiedlich, somit ist ein allgemeingültiger Farbwahrnehmungsraum, der auf jeden beliebigen Menschen zutrifft, nicht denkbar. Um sich diesem Problem zu nähern, wurde von der *Commission Internationale d'Eclairage (CIE)*<sup>43</sup> aus statistischen Erhebungen unter anderem eine *Normfarbtafel* mit x/y-Koordinaten erstellt. Abbildung 13 stellt das *CIE 1931 Modell* dar, in das die zu vergleichenden Farbraumnormen eingezeichnet sind. Dabei sind die Farbräume über ein Dreieck mit den Eckpunkten für Rot, Grün und Blau definiert, welche jeweils x/y-Koordinaten besitzen.

---

<sup>42</sup> vgl. Matthias Ganghofer In: Interviewprotokoll, 1

<sup>43</sup> dt. internationale Beleuchtungskommission



Abbildung 13: Farbraumvergleich im CIE 1931 Modell<sup>44</sup>

Ein wichtiger, internationaler Farbraumstandard wird in der Spezifikation *ITU-R BT.709-5* beschrieben und gebräuchlich *Rec-709* genannt. Er definiert den Farbraum für *HDTV-Monitore* und stellt gleichzeitig einen Ausgabestandard im traditionellen Workflow für TV-Produktionen dar.<sup>45</sup> In Abbildung 13 ist dieser Farbraum mit grau-grüner Umrandung Markiert. Diesem Standard sehr ähnlich ist der von der *European Broadcasting Union (EBU)*<sup>46</sup> spezifizierte Farbraum, welcher für die TV-Normen PAL und SECAM gilt. Er ist im Schaubild gelb markiert. Ein weiterer internationaler Farbraumstandard kommt von der *Digital Cinema Initiatives, LLC (DCI)*<sup>47</sup>. Die *DCI-P3-Norm* basiert grundlegend auf der Spezifikation *SMPTE 431-2* und definiert den Farbraum für das digitale Kino. Sie wurde entwickelt, um sich dem Farbraum von Film anzunähern.<sup>48</sup> Er fällt im Vergleich zum Rec-709 größer aus und ist blau umrandet.

Für die Abtastung von *Negativfilm* entwickelte *Kodak* Mitte der 90er Jahre das *Cineon Format* für den gleichnamigen *Cineon Film Scanner*. Dabei wurde die Idee verfolgt, die kompletten auf dem Negativ enthaltenen

<sup>44</sup> Daten erhoben aus: ITU-R BT.709-5, 18; HP Broschüre, 1; Schmidt 2009, 79; ARRI Bedien.anleitung: ALEXA LogC Curve, 10; Anlage 6: CIE 1931 Chromaticity Diagram, Film

<sup>45</sup> vgl. ARRI.com: What is the difference between [...], Rec 709 and DCI P3?

<sup>46</sup> dt. Europäische Übertragungsunion

<sup>47</sup> dt. Digital-Kino-Initiativen

<sup>48</sup> vgl. ARRI.com: What is the difference between [...], Rec 709 and DCI P3?



Farb- und Helligkeitsinformationen in dieses Format zu bringen. Später wurde die *Cineon-Spezifikation* von ARRI für den *ARRISCAN Film Scanner* übernommen, um ein logarithmisches, 10-Bit-quantisiertes Format zu schaffen. Das sog. *Log-C* ist vorgesehen als Zwischenfarbformat in der Postproduktion und nicht als Monitorstandard. Deshalb macht es eine Farbkorrektur notwendig.<sup>49</sup>

Die Firma ARRI greift den Namen Log-C wieder im Zusammenhang mit ihren digitalen Filmkameras auf. Dabei ist mit dieser Bezeichnung der Farbraum gemeint, welcher mit der jeweiligen Kamera erfassbar ist. Es ist zu beachten, dass sich dieser Farbraum von Kamera zu Kamera unterscheidet, auch wenn die Bezeichnung Log-C die gleiche ist.<sup>50</sup>

Andere Hersteller arbeiten ebenfalls mit logarithmischen Formaten, wie z.B. SONY mit dem *S-Log* und *S-log2*. Allgemein benutzen Digitale Filmkameras einen ähnlichen oder gar größeren Farbraum, als er bei Film erreicht wird. Die *ARRI ALEXA* zum Beispiel arbeitet mit einem Farbraum, der im Grün- und Blaubereich stark erweitert ist und sich außerhalb des für den Menschen sichtbaren Spektrums befindet. (s. Abb. 13, schwarz)

Bei Verwendung dieser Farbräume, würde das Material auf einem nach Rec709 genormten Monitor, oder aber in einem Kinosaal nach DCI P3-Norm, grau und matschig erscheinen. Für die Wiedergabe am Set, kann bei den Kameras in der Regel der Rec-709 als Farbraum gewählt werden. Darüber hinaus gibt es meist vom Hersteller die Möglichkeit sog. *Look Up Tables (LUTs)*<sup>51</sup> zu erstellen. Mit ihnen kann ein bestimmter Look bereits im Vorfeld erzeugt werden und zeigt das Bild bereits am Set, wie es nach der Farbkorrektur in der Postproduktion aussehen könnte bzw. soll<sup>52</sup>.

### 2.3.2 Quantisierung und Abtastraster

Das digitale Videosignal besteht wie jedes digitale Signal aus einzelnen *Bits*, die sich zu Bitfolgen zusammensetzen. Dabei kann jedes Bit entweder den Zustand 0 oder 1 annehmen. Die nächst größere Einheit – abgesehen vom *Byte* – ist das *Datenwort*, welches die kleinste zusammenhängende Informationskette beschreibt.<sup>53</sup> Im Bereich der digitalen Kinematografie tauchen in diesem Zusammenhang Quantisierungen von 10, 12, 14 und 16-Bit auf, denen in diesem Fall die Datenwörter der Bildinhalte entsprechen. Ein 10-Bit-Datenwort hat  $2^{10}$  mögliche Werte. 12-Bit-, 14-Bit- und

---

<sup>49</sup> vgl. Forumbeitrag von ARRI-Mitarbeiter Harald

<sup>50</sup> vgl. ARRI.com: What is the difference between [...], Rec 709 and DCI P3?

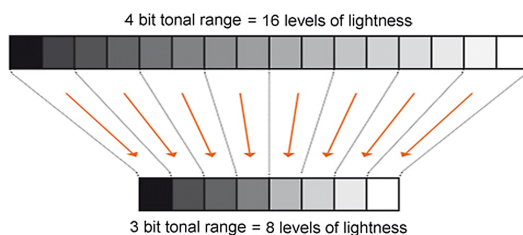
<sup>51</sup> dt. Nachschlagetabelle

<sup>52</sup> ARRI.com: LUTS: Look Up Tables

<sup>53</sup> vgl. ITWissen.info: Datenwort

16-Bit-Datenworte haben entsprechend  $2^{12}$ ,  $2^{14}$  und  $2^{16}$  mögliche Werte. Die Grundlage für das digitale Farbbild ist das Pixelarray auf dem Bildwandler, welches durch das *Bayer-Pattern* bzw. die *Farbstreifenfilter* ein *RGB-Bild* erzeugt. Das bedeutet, dass jeder Pixel einer Farbe zugeordnet ist und der Pixel lediglich einen Helligkeitswert für die entsprechende Farbe aufzeichnet. Diese Information findet schließlich in einem Datenwort platz. Abbildung 14 zeigt einen *4-Bit-Graustufenkeil* im Vergleich zu einem *3-Bit-Graustufenkeil*.

Abbildung 14: 4-Bit-Quantisierung zu 3-Bit-Quantisierung



Ausgehend von der Annahme, dass das menschliche Auge höchstens 200 Graustufen auf einem Monitor unterscheiden kann, liegt eine 8-Bit-Quantisierung mit 256 möglichen Werten für Videosignale nahe.<sup>54</sup> In der digitalen Kinematografie hingegen sind mindestens 12-Bit-Datenwörter und für die Bildinformationen üblich. Der Grund hierfür liegt in der größeren Flexibilität in der Postproduktion. Während 8-Bit-Abgestuftes Material für die Wiedergabe ausreichend ist, ist dieses Material in der Farbkorrektur nur begrenzt optimierbar.

Im Folgenden sollen für diese Arbeit relevante Raster zur Farb-abtastung dargestellt werden, ohne auf den Aufbau von konkreten Übertragungsstandards einzugehen. Für die Betrachtung soll ein schematischer Aufbau eines Farbsignals für die Unterscheidung von *RGB-4:4:4*, *YC<sub>R</sub>C<sub>B</sub>-4:4:4* sowie *YC<sub>R</sub>C<sub>B</sub>-4:2:2* genügen. Sofern nicht in einem der *RAW-Formate* mit nativer Auflösung aufgezeichnet wird, soll der Ausgangspunkt dieser Betrachtung ein RGB-Signal sein, das mit drei Datenströmen vorliegt und schließlich in einem Datenstrom zusammengefasst werden soll. Demnach bestehen für jeden Pixel drei Farb-informationen, die jeweils einem Datenwort entsprechen.

Die schematische Darstellung für ein mögliches RGB-Signal mit der 4:4:4-Rasterung wird im ersten Schema auf der linken Seite in Abbildung 15 gezeigt. Die drei RGB-Datenströme werden so kombiniert, dass die jeweils drei zusammengehörigen RGB-Datenworte eines Pixels

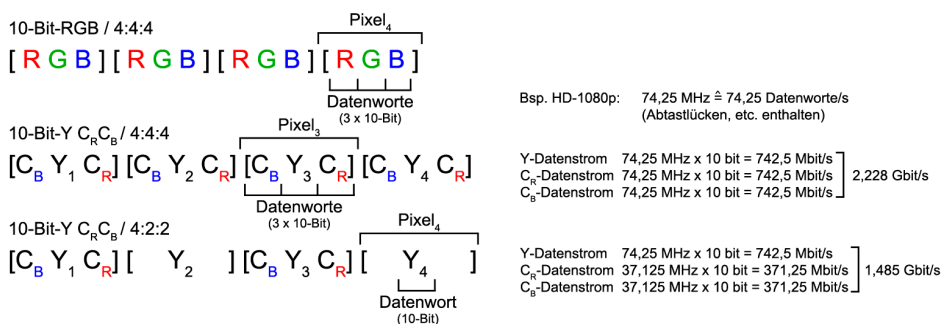
<sup>54</sup> vgl. Schmidt 2009, 133

hintereinander übertragen werden. Auf diese Weise folgt ein Pixel auf den anderen. Auf das Gesamte Signal bezogen, wird in diesem Fall davon gesprochen, dass alle drei Farbauszüge in voller Farbauflösung übertragen werden. Dieser Zusammenhang wird durch das Verhältnis 4:4:4 beschrieben, welches genau genommen auch 1:1:1 lauten könnte. Da jedoch Komprimierungen in diesem Muster dargestellt und untereinander verglichen werden, bleibt hier die 4 bestehen, welche also für ein unkomprimiertes Signal steht. Findet das Verhältnis 4:4:4 Verwendung, ist allgemein ein RGB-Signal gemeint, welches nicht mit dem  $Y_C R_C B_C$ -4:4:4 verwechselt werden darf. Das  $Y_C R_C B_C$ -4:4:4 ist ein Komponenten-Signal, welches eine Luminanzkomponente und zwei Chrominanzkomponenten aufweist. Diese resultieren aus dem RGB-Signal und bilden ebenfalls drei Datenströme, die zusammengefasst werden können. Wie das zweite Schema in Abbildung 15 zeigt, setzen sich der Komponentendatenstrom dem RGB-Datenstrom sehr ähnlich zusammen. Die Komponenten sind nicht komprimiert.

Beim  $Y_C R_C B_C$ -4:2:2 sind im Unterschied zum 4:4:4-Komponentensignal die Chrominanzkomponenten auf die Hälfte der Farbauflösung reduziert. Dabei wird lediglich die horizontale Auflösung der Datenworte verringert. Schema drei in Abbildung 15 verdeutlicht dies. Hier fehlen in jedem zweiten Pixel die Datenworte für die Chrominanzkomponenten. Dieses Abtastraster ist dem menschlichen Sehvermögen sehr ähnlich und eignet sich daher ideal für den Wiedergabebereich. Für Farbkorrekturen in Filmanwendungen ist jedoch oft eine höhere Farbauflösung notwendig.

In den Spezifikation für die Datenschnittstelle *HD-SDI* ist das 4:2:2-Abtastraster mit 10-Bit-Datenworten für den Bildinhalt bei einer *Basisabtastrfrequenz* von 74,25 MHz festgelegt.<sup>55</sup> Bei einem Vergleich der Abtastraster 4:4:4 und 4:2:2 ist schließlich eine Reduktion des Datenstroms von 2,228 Gbit/s um ein Drittel auf 1,485 Gbit/s zu beobachten. (s. Abb.15 r.)

Abbildung 15: Abtastraster  $Y_C R_C B_C$ -4:4:4/4:2:2 und RGB-4:4:4



<sup>55</sup> vgl. SMPTE 292M nach Schmidt 2009, 154

Ein spezielles, voll aufgelöstes RGB-Signal ist das *RGBA-4:4:4:4*, welches durch einen Alphakanal ergänzt wird. Dieser Kanal enthält für jeden Pixel Informationen über die Deckkraft. Bei den digitalen Filmkameras wird dieser Kanal nicht genutzt. Da diese Bezeichnung dennoch verschiedentlich auftaucht, soll sie hier erwähnt sein. Anwendung für diese Erweiterung sind beispielsweise Stanzmasken bei der Mischung von Signalen.<sup>56</sup>

### 2.3.3 RAW

*RAW-Formate* bezeichnen im Allgemeinen Rohdatenströme einer digitalen Film- bzw. Fotokamera. Dabei sind diese Formate nicht standardisiert, sondern haben herstellerspezifische Vorgaben. Die RAW-Aufzeichnung ist dabei die bestmögliche Aufnahmemöglichkeit mit der entsprechenden Kamera und sollte die nicht komprimierten, nativen Daten einschließlich der Metadaten enthalten. Rohdaten müssen in jedem Fall in der Postproduktion bearbeitet werden und können nicht ohne weiteres abgespielt werden.

Eine Besonderheit stellt das RAW-Format der RED DIGITAL CINEMA dar, weshalb an dieser Stelle ausschließlich auf dieses Format eingegangen wird. Der sog. REDCODE findet bei der RED ONE, EPIC und SCARLETT Verwendung und wird dabei komprimiert aufgezeichnet. Hierfür stehen verschiedene Qualitätsstufen mit unterschiedlichen Komprimierungsverhältnisse zur Verfügung.<sup>57</sup>

Das *Digital-Picture-Exchange (DPX)* ist gewissermaßen ein RAW-Dateiformat, das als Austauschformat in Filmproduktionen dient. Darüber hinaus wird es für den *Negativscan* eingesetzt. Verschiedene *digitale Filmkameras* unterstützen dieses Format auch.<sup>58</sup>

### 2.3.4 Codec's in professionellen Anwendungen

Für den Fall, dass eine Produktion nicht im *RAW-Format* arbeitet, stehen eine Reihe von *Codec's* aus dem professionellen Anwendungsbereich zur Verfügung. Dabei ist zu beachten, dass *Codec's* generell – auch in professionellen Anwendungen – mit einem verlustbehafteten Kodierverfahren verbunden sind.

Einer dieser *Codec's* ist der *MPEG-4* mit *Studio Profile*, welcher in Verbindung mit der SONY F-35 im *HD-Cam SR* Format aufgezeichnet wird. *HD-Cam SR* unterstützt die volle *RGB-4:4:4-Farbauflösung* mit einer

---

<sup>56</sup> vgl. Schmidt 2009, 155 u. Silvio Reichenbach In: Interviewprotokoll, 2

<sup>57</sup> vgl. RED.com: Tech Specs (RED ONE)

<sup>58</sup> vgl. ITWissen.info: DPX (digital picture exchange)

Datenrate von bis zu 880 Mbit/s im *HQ-Modus* (SQ: 440 Mbit/s) bei *12-Bit Farbtiefe* und *2K-Bildauflösung*. Darüber hinaus ermöglicht das Format die Aufzeichnung von 12 unkomprimierten digitalen Audiospuren.<sup>59</sup>

Die *Apple ProRes* Familie umfasst fünf Varianten des Codecs mit unterschiedlicher Datenrate. Der *Apple ProRes 4444* bietet dabei die höchste Qualität mit voller RGB-Farbauflösung und zusätzlichem Kanal bei maximal 16-Bit-Quantisierung. Bei dieser Variante liegt die Zieldatenrate bei ca. 330 Mbit/s. Ein weiterer, im professionellen Bereich verwendeter Typ, ist der *Apple ProRes 422 (HQ)*. Hier wird ein Komponentensignal im Verhältnis 4:2:2 bei 10-Bit-Farbtiefe codiert. Die Zieldatenrate liegt bei ca. 220 Mbit/s.<sup>60</sup>

Der *h.264/AVC* ist ebenfalls ein wichtiger Codec, den es in insgesamt 14 Profilen und jeweils in 17 Ebenen gibt. Für professionelle Anwendungen kommen die Profile *High 4:2:2* und *4:4:4* infrage. Im *High 4:4:4* ist eine maximale Quantisierung von 14-Bit möglich. Auf der höchsten Ebene ergibt sich bei einer Auflösung von 4K und 25 fps eine Datenrate von 960 Mbit/s.<sup>61, 62</sup>

Als letzter Codec soll der von *AVID* entwickelte *DNxHD* genannt werden. Dieser kann ein *HD1080-Komponentensignal* im Verhältnis 4:2:2 bei maximal 10-Bit-Farbtiefe in 220 Mbit/s kodieren.<sup>63</sup> Weiter wird er üblicherweise in einem *MXF* transportiert. Das *Material-Exchange-Format* (*MXF*) sowie das *Advanced Authoring Format* (*AAF*) sind häufig auftauchende Dateiformate. Dabei ist das *MXF* ein Containerformat und das *AAF* ein Metadaten-Dateiformat. Beide Formate sind für den Austausch von audio-visuellen Daten konzipiert.<sup>64</sup>

## 2.4 Vergleich aktueller digitaler Filmkameras

Für den folgenden Vergleich fielen ausschließlich Kameras mit einem *Super-35mm-Bildsensor* in die Auswahl. Ihre grundlegenden Daten sollen im Folgenden zusammengefasst und verglichen werden.

Am auffälligsten sind die Unterschiede während des Vergleichs in der Auflösung zu erkennen. Alle Kamerasysteme arbeiten mit *Sub-Pixel-Strukturen*, zu denen die Hersteller teilweise uneindeutige Angaben machen. Vereinzelt werben sie mit hohen Auflösungen, die letztlich nur den

---

<sup>59</sup> vgl. Sony Broschüre: High Definition Format Guide, 7

<sup>60</sup> vgl. Apple.com: Informationen zu Apple ProRes

<sup>61</sup> vgl. Wikipedia.org: H.264

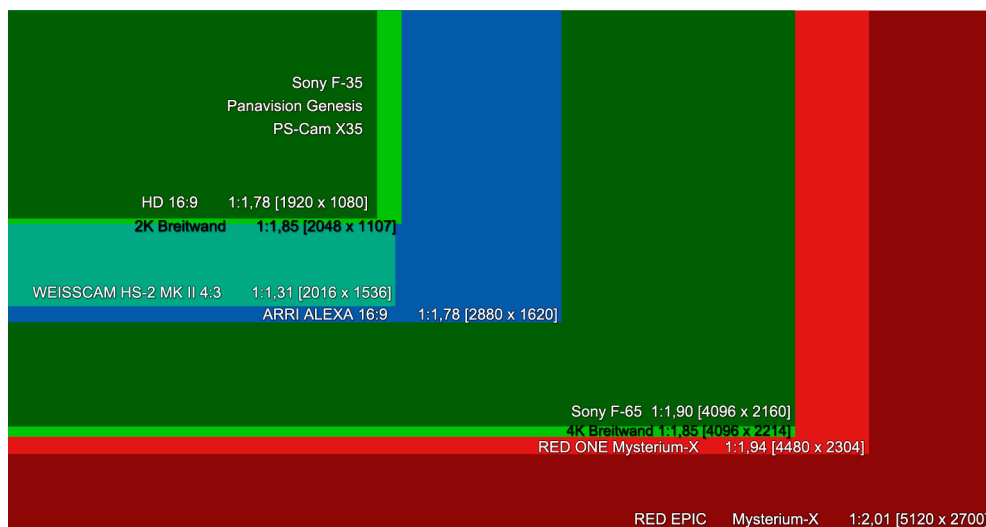
<sup>62</sup> vgl. ITU T-REC-H.264 u. Schmidt 2009, 219

<sup>63</sup> vgl. Avid Datenblatt: Avid DNxHD Technology, 1f

<sup>64</sup> vgl. Avid Datenblatt: MXF Unwrapped, 5

nativen Pixelanzahlen (Sub-Pixel) entsprechen. Die effektiven Bildauflösungen der unterschiedlichen Kamerasysteme wurden in Abbildung 16 in den direkten Vergleich gestellt.

Abbildung 16: Vergleich der effektiven Auflösungen<sup>65</sup>



Die Ausgabeformate können in drei Gruppen eingeteilt werden. Das sind die der RED ONE, EPIC und der SONY F-65 im 4K- bzw. 5K-Bereich. Die der SONY F-35, PANAVISION GENESIS, PS-CAM X35 und WEISSCAM HS-2 liegen im 2K- bzw. HD-Bereich und die der ARRI ALEXA in der Mitte bei knapp 3K.

In der untenstehenden Tabelle werden die Kameras anhand weiterer Punkte, wie Sensorbeschaffenheit oder Farbtiefe verglichen. An dieser Stelle soll besonderes Augenmerk auf dem Verhältnis zwischen der nativen Auflösung und der effektiven Bildauflösung in Verknüpfung mit der Farbseparation liegen. Zwei der Kameras arbeiten mit Farbstreifenfilterung auf einem CCD-Bildwandler, fünf mit Bayer-Pattern und eine weitere mit veränderter 8K-Wabenstruktur auf einem CMOS-Bildwandler.

Die beiden auf CCD-Technik basierenden Kameras PANAVISION GENESIS und SONY F-35 geben ein sog. *True-RGB-Signal* aus, dessen Auflösung nicht durch Algorithmen gesteigert wurde. Bei sechs Sub-Pixeln liegt das Verhältnis der nativen zur effektiven Auflösung demnach bei 1:0,167 (16,7%). Die anderen Kamerasysteme verfügen nach Bayer-Struktur über vier Sub-Pixel, was zunächst eine Bildauflösung entsprechend 25%

<sup>65</sup> Daten erhoben aus Datenblättern: ARRI, ARRI ALEXA; Sony, F65; Sony, F-35; P+S Technik, PS-Cam X35; P+S Technik, WEISSCAM HS-2 MK II; aus dem Internet: RED.com: Tech Specs; Panavision.com: SPECS

der nativen Auflösung ergibt. Bei der ARRI ALEXA wird die effektive Bildauflösung von 25% auf rund 63% gesteigert. Die RED ONE zeigt eine noch größere Steigerung auf gut 75%. Die SONY F-65 erreicht mittels ihrer Wabenstruktur eine wesentlich höhere Auflösung und steigert die effektive Auflösung lediglich von 25% auf rund 44%. Somit erzielt sie eine ähnlich hohe effektive Auflösung wie die RED ONE bei wesentlich geringerer Steigerung. Mit der RED EPIC ist laut Herstellerangaben eine Aufzeichnung in 5K möglich. Angesichts der nativen Auflösung des Chips würde dies eine Steigerung der effektiven Auflösung auf 100% bedeuten. Eine offizielle Bestätigung dieses Zusammenhangs liegt jedoch nicht vor.

Tabelle 1: Kameravergleich<sup>66</sup>

	ARRI ALEXA Plus	Canon C-500 PL	Panavision Genesis	PS-Cam X35
Sensor	CMOS - RS Bayer Pattern	CMOS - k.A. (RS) Bayer Pattern (C-300)	CCD Farbstreifenfilter	CMOS - GS k.A.
Sensorgroße	27,98 x 18,15 mm	Super-35mm	23,62 x 13,28 mm	21,1 x 11,9 mm
Auflösung total	3392 x 2200	k.A.	12,4 Megapixel	k.A.
Auflösung effektiv	2880 x 1620	4096 x 2160	1920 x 1080	1920 x 1080
Ausleseverfahren	progressiv	progressiv	progressiv	progressiv
Bildfrequenz	bis 60 fps RAW bis 120 fps ProRes422	bis 120 fps	bis 50 fps	bis 450 fps
Kontrastumfang	14 stops	k.A.	11 stops	11 stops
S/N-Ratio	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Empfindlichkeit	800 ASA	k.A.	400 ASA	640 ASA
Farbraum	Log C	Canon Log Gamma	Log	k.A.
Signalprocessing	16bit (processing)	k.A.	k.A.	k.A.
Signalausgabe	12bit RAW	12bit RAW	10bit RGB 444	12bit RAW

	Red One Red Epic-X	Sony F-65	Sony F-35	WEISS CAM HS-2
Sensor	CMOS - RS Bayer-Pattern	CMOS - RS + Uml.-B. 8K Grid	CCD Farbstreifenfilter	CMOS - GS k.A.
Sensorgroße	24,4 x 13,7 mm	24,89 x 16,66 mm	Super-35mm	35mm
Auflösung total	5120 x 2700 (Epic)	20 Megapixel	5760 x 2160	k.A.
Auflösung effektiv	4480 x 2304	4096 x 2160	1920 x 1080	2016 x 1536
Ausleseverfahren	progressiv	progressiv	progressiv	progressiv
Bildfrequenz	bis 120 fps (2K) bis 30 fps (4,5 K)	bis 120 fps	bis 50 fps	bis 4400 fps (720p) bis 1400 fps (2K)
Kontrastumfang	13+ stops	14 stops	k.A.	10+ stops
S/N-Ratio	66dB	k.A.	54 dB	k.A.
Empfindlichkeit	800 ASA	800 ASA	T10,6/2000lx/23,98fps	600 ASA
Farbraum	k.A.	S-Log2	S-Log	k.A.
Signalprocessing	k.A.	16bit processing	14bit processing	k.A.
Signalausgabe	12bit/16bit(Epic) RAW	16bit RAW	12bit RGB 444	12bit RAW

Legende: RS - Rolling-Shutter / GS - Global-Shutter  
Uml.-B. - Umlaufblende

<sup>66</sup> Daten erhoben aus Datenblättern: ARRI, ARRI ALEXA; Sony, F65; Sony, F-35; P+S Technik, PS-Cam X35; P+S Technik, WEISSCAM HS-2 MK II; aus dem Internet: RED.com: Tech Specs; Panavision.com: SPECS; Daten ergänzt: Single-Chip-Kameras mit großem Sensor In: Film & Tv Kameramann, Monografie Aktuelle Kameras, 2012, 22-38

Ist die Rede von CMOS-Bildwandlern und ist nichts anderes angegeben, so verwenden diese üblicherweise eine rollende Blende. Dies ist der Fall auch bei der ARRI ALEXA, der RED ONE, der F-65 und vermutlich auch der C-500. Die SONY F-65 verfügt über die Hybridlösung mit Umlaufblende, um den Shutter-Effekt bei bestimmten Anwendungen zu reduzieren. (s. Kap. 2.2.2) Die bereits erwähnte Studioversion der ARRI ALEXA ist ebenfalls mit dieser Lösung umgesetzt. Die WEISSCAM HS-2 und PS-CAM X35 verwenden als *High-Speed-Kameras* eine globale Blende.

In der Quantisierung des Ausgabesignals liegen mehr als die Hälfte der betrachteten Kameras gleich auf. Sie zeichnen ein 12-Bit-Signal auf bzw. geben es aus. Lediglich die PANAVISION GENESIS liegt mit 10-Bit darunter. Die F-65 und RED EPIC liegen mit 16-Bit darüber. In der internen Signalverarbeitung wiederum zieht die ARRI ALEXA mit den beiden Kameras auf 16-Bit gleich. Der Vorgänger der SONY F-65, die F-35, liegt mit 14-Bit in der Verarbeitung zwischen 12 und 16-Bit. Die anderen Hersteller machen separat keine Angabe zur internen Signalverarbeitung ihrer Systeme.



### 3 Sicherung der technischen Abläufe in der Produktionsphase

Die Kamerawahl ist getroffen, das Aufnahmeformat wurde gefunden und die *Kamera-Crew* ist zusammengestellt. Der Kameraassistent hat mit dem DoP im Vorfeld eine Technikliste erstellt, welche die Produktion genehmigt und mit demameratechnikverleih verhandelt hat.

#### 3.1 Der Kameratest

In der Regel umfasst der Kameratest für TV-Spielfilme ein bis vier Tage. Testphasen mit weit mehr Tagen sind für aufwendigere Produktionen auch möglich.<sup>67</sup> Im Wesentlichen geht es beim Kameratest um die Prüfung der Technik auf ihre Funktionstüchtigkeit. Dabei wird die Kamera einschließlich aller zugehörigen Komponenten aufgebaut und in allen Funktionsmöglichkeiten getestet. Dazu gehören neben der Kamera insbesondere Stative, Stativköpfe, Kompendien, Leicht- und Funkschärfe, Assistentenmonitore, diverse Kabel und optional das externe Aufzeichnungssystem. Alle Elemente sollten dabei in den verschiedenen Aufbauten der Kamera, zum Beispiel für *Steadycam*-<sup>68</sup> oder *Low-Mode-Anwendungen*<sup>69</sup>, getestet werden. Mit dem Kameratest wird sichergestellt, dass die gemietete Technik einwandfrei funktioniert, was schließlich mit dem Dreh des Kameratests dokumentiert wird. Im Falle von technischen Problemen während des Drehs, den damit verbundenen Produktionsausfällen und finanziellen Schäden, wird dieser dokumentierte Test auch versicherungstechnisch relevant<sup>70</sup>.

Der Kameraassistent führt alle Tests mit dem *Materialassistenten* und eventuell dem DIT in den Räumlichkeiten des Kameraverleihs durch. Zur Verfügung stehen meist *Test-Boxen* mit einem Arbeitsplatz und Testaufbauten. Im Idealfall stellt der Verleih einen festen Mitarbeiter für die Betreuung des Projekts ab, zu dem der Kameraassistent ein gewisses Vertrauensverhältnis aufbauen kann. Für ihn wird dieser Mitarbeiter während des Tests und bei späteren Problemen in der Produktionsphase der erste Ansprechpartner sein.

---

<sup>67</sup> vgl. Matthias Ganghofer In: Interviewprotokoll, 1

<sup>68</sup> dt. ruhige Kamera; geschützter Markenname

<sup>69</sup> dt. Tiefbetrieb; in Verbindung mit Steadycam lässt sich Kamera in Bodennähe anwenden

<sup>70</sup> vgl. Matthias Ganghofer In: Interviewprotokoll, 1f

Wenn nicht bereits vorher geprüft, kann sich der Kameraassistent während des Testens einen Überblick verschaffen, ob die bestellte Technik bereitgestellt wurde und vorhanden ist. Sollte dies nicht der Fall sein oder sind bestimmte Komponenten nicht verfügbar, muss Ersatz beschafft werden. Fehlt etwas beim Dreh, ist letztlich der Kameraassistent verantwortlich und wird sich rechtfertigen müssen.

### 3.1.1 Dokumentation des Kameratests

Wie bereits erwähnt sollte der Kameratest dokumentiert werden. Zu Beginn wird eine *Titelkarte* gedreht, welche mit allen wichtigen Informationen zur eindeutigen Zuordnung des Tests versehen ist. Wird der Test zur Prüfung ins Postproduktionshaus gegeben, ist es sinnvoll den durchführenden Kameraassistent mit seiner Mobiltelefonnummer zu notieren.<sup>71</sup> So kann das Postproduktionshaus gegebenenfalls Rücksprache mit ihm halten. In diesem Fall würde ein DIT der Postproduktion ein gutes Bindeglied darstellen und die Kommunikation erleichtern. Dies gilt insbesondere auch für die Festlegung eines Produktionsstandards, zu dem unter anderem auch der *Frameleader* gehört<sup>72</sup>.

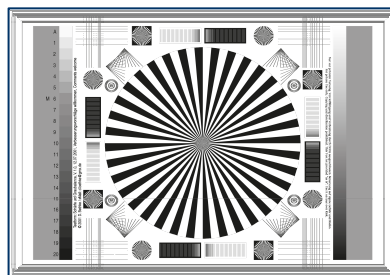
#### Objektiv- / Schärfentest

Es folgt der Objektivtest, bei dem die Skalierung aller Objektive in Verbindung mit der Kamera überprüft wird. Möglicherweise könnte das Auflagenmaß an Kamera oder Objektiven falsch justiert sein.

*„In diesem Fall würden Objekte nicht scharf dargestellt werden, obwohl der Abstand an dem Objektiv korrekt eingestellt ist.“<sup>73</sup>*

Für den Test stehen verschiedenen Testkarten zur Verfügung. In jedem Fall sollte ein ausreichend großer *Siemensstern* auf dieser Karte vorhanden sein, an dem zuverlässig die Schärfe beurteilt werden kann. (s. Abb. 17) Hierzu ist zunächst die Sensorebene der Kamera plan in einen gleich bleibenden Abstand zur Testkarte zu bringen. Das Zentrum des Siemenssterns sollte dabei in der Mitte des Bildes liegen. Liegt die Schärfe des betrachteten Objektives nicht

Abbildung 17: Testkarte



<sup>71</sup> vgl. Matthias Ganghofer In: Interviewprotokoll, 1f

<sup>72</sup> vgl. Matthias Ganghofer In: Interviewprotokoll, 1f

<sup>73</sup> Matthias Ganghofer In: Interviewprotokoll, 2

auf der an der Skala eingestellten Schärfenebene, ist zunächst zu prüfen, ob alle Objektive in die gleiche Richtung abdriften. Das würde bedeuten, dass das Auflagenmaß der Kamera angepasst werden müsste. Driften einzelne Objektive ab, müssen lediglich diese korrigiert werden. Bei Zoomobjektiven wird der Brennweitenbereich sinnvoll eingeteilt und die einzelnen Brennweiten analog getestet. Verläuft das Zoomobjektiv nicht linear, drifft es in bestimmten Brennweitenbereichen ab.

*„Dieses nichtlineare Verhalten liegt daran, dass sich verschiedene Linsengruppen separat in dem Objektiv bewegen. Das Schneckengetriebe überträgt dabei die Einstellung des Skalierungsrades auf die verschiedenen Linsengruppen. Ist dieser Schneckengang ausgeschlagen, kommt es zu diesen nichtlinearen Abweichungen.“<sup>74</sup>*

Abhängig davon, wie gravierend diese nicht linearen Abweichungen sind, sollte das Objektiv ausgetauscht oder so angepasst werden, dass sich der nicht lineare Verlauf am wenigsten auswirkt. Liegt die Schärfe bei allen Objektiven richtig bzw. innerhalb einer vertretbaren Toleranz, muss dies dokumentiert werden. Dazu wird für jedes Objektiv ein Test gedreht, bei dem der Schärfentiefenbereich bei laufender Kamera mit der Fokussierung durchlaufen wird. Eine Einteilung von fünf Punkten erscheint an dieser Stelle zweckmäßig. Während des Durchlaufs muss an einer entsprechenden Skala die Fokussierung angezeigt werden. (s. Abb. 18)

Abbildung 18: Skala zum Testen des Schärfenverlaufs



### Harddisk-Test

Analog zum *Kratzertest* der Magazine aus dem Filmbereich, sollten alle Festplatten bzw. *Flashspeicher* getestet werden. Möglicherweise produzieren einzelne Festplatten Datenfehler oder weisen mechanische Schäden auf. Treten Fehler beim Dreh auf, weil eine Festplatte nicht getestet wurde, wäre dies vermeidbar gewesen. Im Verhältnis zur steigenden Produktionssicherheit ist der Aufwand für den Test schwindend gering.

<sup>74</sup> Matthias Ganghofer In: Interviewprotokoll, 2

### *Kratzer auf Filtern oder Objektiven*

Kratzer auf Filtern oder gar auf einer der äußeren Linsen der Objektive können optische Fehler verursachen. Auch wenn auf den ersten Blick keine Beeinflussung des Bildes ersichtlich ist, können bei bestimmten Lichtsituationen dennoch Störungen auftreten. Die gründliche Überprüfung der Filter auf Kratzer ist eine typische Aufgabe des Materialassistenten, der bei größeren Kratzern oder Steinschlägen den Austausch veranlassen sollte. Darüber hinaus sind alle Schäden zu dokumentieren, um später belegen zu können, dass die Schäden bereits vor dem Entleihen vorhanden waren.

### *3.1.2 Bedeutung des DIT während des Kamerateests*

Der DIT ist in der Regel ein Videotechniker mit *IT-Kenntnissen*. Ohne dem Kapitel 3.3 vorzugreifen, soll an dieser Stelle lediglich die Bedeutung des DIT aus Sicht des Kameraassistenten betrachtet werden.

Mittlerweile sind die meisten Kameraassistenten in der Lage die aktuellen digitalen Kameras für den Dreh vorzubereiten. Zusätzlich beherrscht ein DIT einen sichereren Umgang mit der Materie und stellt so eine enorme Erleichterung und Absicherung für den 1. Assistenten dar. Die Komplexität der Einstellungs-, Kalibrierungs- und Menüführungseinstellungen der aktuellen Kameras variieren dabei sehr stark. Der DIT ist für diese Aufgabe der qualifizierte Mitarbeiter. Darüber hinaus kann der Kamerateest vom DIT umfangreicher ausgewertet werden und möglicherweise können im Vorfeld Kamerafehler festgestellt werden.

Nicht nur mit Blick auf die Sicherung der technischen Abläufe – der Kameraassistent wird entlastet – macht es Sinn, dieses Aufgabenfeld dem Videotechniker zuzuordnen, letztlich liegt die Verteilung der Verantwortlichkeiten in diese Weise nahe.

## **3.2 Hierarchie der Assistenten**

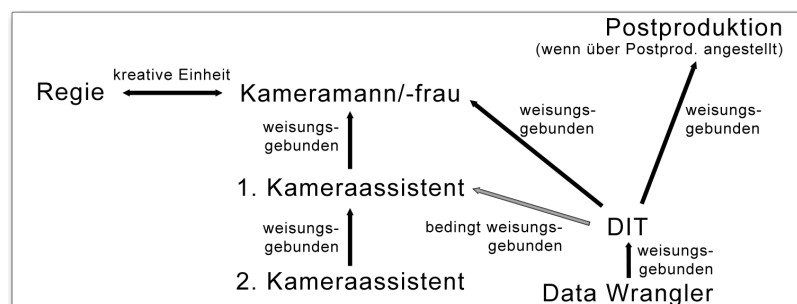
Beim szenischen Dreh bilden Regie und Kamera eine kreative Einheit. Dabei liegt die Bildgestaltung vorwiegend im Verantwortungsbereich des DoP. Die technische Verantwortung liegt letztlich ebenfalls beim DoP. Am Set jedoch gibt er einen Großteil der Verantwortung an den Kameraassistenten ab, welcher ihm gegenüber weisungsgebunden ist. Begonnen mit dem Kamerateest obliegt dem Kameraassistenten die Verantwortung für alle kameratechnischen Abläufe in der Produktionsphase. Der Material- bzw. 2. Kameraassistent arbeitet ihm zu.

*„Funktion, Arbeitsweise und Hierarchie der digitalen Assistenten in Vor- und Postproduktion und am Set sind durch die Branche noch nicht klar definiert. Während ein Data-Wrangler, wie der Name schon sagt, v.a. in der Lage sein muss die Daten sicher auf ein Speichermedium zu bringen, ist der Digital Image Technician für die gesamte Produktion für die Umsetzung auf dem Digitalen Medium verantwortlich.“*

*Grundsätzlich kann man sagen: Aufgaben in der Kamera-Crew müssen unbedingt im Vorfeld klar abgestimmt werden“<sup>75</sup>*

Es gibt teils große Unterschiede bei der Auffassung der Aufgaben, welche zur Tätigkeit des DIT zählen, und der Hierarchie am Set. Oft besetzt der DIT in der Hierarchie eine Art Zwischenstellung, in der er dem Kameraassistenten untergeordnet ist, jedoch alleinverantwortlich in seiner Tätigkeit arbeitet. In einigen Fällen, gerade bei größeren Projekten unterstützen zusätzlich ein *Data-Wrangler* und ein *Videooperator* die Kameraabteilung. Der Data-Wrangler übernimmt dabei die Datensicherung und ist dem DIT gegenüber weisungsgebunden. Der Videooperator ist meistens ein Praktikant und unterstützt vorwiegend beim Auf- und Abbau der Videotechnik. Wie die einzelnen Aufgaben in der *Kamera-Crew* verteilt werden, muss in jedem Fall im Vorfeld abgestimmt werden, da Unklarheiten an dieser Stelle zu Fehlern oder Versäumnissen jeder Art führen können. Ist eine Aufteilung der Verantwortlichkeiten gemacht, wird kein Assistent in die Arbeitsweise des DIT in Form einer Weisung eingreifen. Dies gilt, solange die Sicherheit der technischen Abläufe gewährleistet ist. Der DIT arbeitet allgemein auch sehr eng mit dem DoP zusammen und ist diesem gegenüber weisungsgebunden. Sollte der DIT bei der Postproduktion angestellt sein, ändert sich an dieser Hierarchie nichts, da er in diesem Fall zwar weisungsgebunden gegenüber der Postproduktion ist, diese sich aber weitgehend aus dem Produktionsgeschehen heraushalten wird.

Abbildung 19: Hierarchie der Assistenten



<sup>75</sup> Matthias Ganghofer In: Interviewprotokoll, 2

### 3.3 Berufsbild: Digital Image Technician (DIT)

Mit steigender Anzahl an digitalen Filmproduktionen haben sich im letzten Jahrzehnt die Anforderungen an die Kameraabteilung wesentlich verändert. Während Negativfilm mechanisch durch die Filmkamera transportiert wird und später lichtdicht verschlossen in eine Filmbüchse verpackt wird, ist die digitale Filmkamera gewissermaßen ein Computer und arbeitet mit Datenströmen und Videosignalen. Dieser Umstand bringt Anforderungen im IT- und Videobereich mit sich, welchen der 1. Kameraassistent nicht gerecht werden kann und muss.

Mit diesem Hintergrund wurden bereits in den Anfängen der digitalen Filmaufnahme Videotechniker hinzugezogen. Ein Berufsbild mit klar definierten Aufgaben gab es dabei lange Zeit nicht und auch eine Berufsbezeichnung fehlte. Weitere Bezeichnung wie *Digital Film Technician*, *Kamera Supervisor*, *Camera-Consultant*, *Digital Camera Consultant*, *Digital Camera Supervisor* oder *HD Supervisor* waren in der Branche zu finden.<sup>76</sup>

Letztlich formten sich zwei Berufsbilder: das des *Data-Wrangers* und das des *Digital Image Technician* – auch *Digital Imaging Technician* genannt. Wie bereits erwähnt, ist der Data-Wrangler für das Datenmanagement zuständig. Seine Aufgabe ist ausschließlich die Datensicherung und die Verwaltung der Daten, wie es in Kapitel 4 beschrieben wird. Da diese Aufgaben, sobald kein Data-Wrangler vorhanden ist, zu den Anforderungen des DIT gehört, wird das Berufsbild des Data-Wrangers nicht weiter separat beschrieben.

#### *Aufgaben des DIT während des Kamerateests*

Zwei wesentliche Aufgaben des DIT während des Kamerateests wurden bereits genannt – die Überprüfung der Festplatten bzw. *Flashspeicher* und das erste *Kamera-Setup*. Die eigentliche Aufgabe liegt jedoch auch für den DIT im Testen der Technik. Dabei erscheint es sinnvoll, wenn der DIT auch die Technik testet, die er später selbst verwenden wird.

*„Eine wesentliche Aufgabe des DIT kann in der Vorproduktion auch sein, mit dem DoP zu besprechen, wie dessen visuelle Vorstellungen zu realisieren sind, z.B. gegebenenfalls bereits vor dem Dreh sog. LUTs (Look Up Tables) zu erstellen oder auf Besonderheiten des jeweiligen Mediums oder der Kamera in technischer Hinsicht der Bildverarbeitung hinzuweisen.“<sup>77</sup>*

---

<sup>76</sup> vgl. BVKamera.org: Berufsbild DIT (Digital Image Technician)

<sup>77</sup> Matthias Ganghofer In: Interviewprotokoll, 3

Dem DIT wird demnach auch während der Vorbereitungsphase eine beratende Rolle zuteil, die sich neben den technischen auch in kreativen gestalterischen Bereichen auswirkt. Abhängig davon, wie erfahren der DoP selbst in der digitalen Kinematografie ist, sollte ihn der DIT beraten können, um zur bestmöglichen Steigerung der Qualität des Produkts beizutragen.

Schließlich ist ein letzter, wesentlicher Teil des Tests mit der Erschließung der Datenlogistik verbunden. Hierfür steht dem DIT im Idealfall ein eigenes *DIT-Mobil* zur Verfügung, in dem er sich einen Data-Wrangling-Spot (s. Kap. 4.2) aufbauen kann. Andernfalls sollte genug Platz für den DIT im Kamerafahrzeug reserviert sein.

### *Aufgaben des DIT am Set*

Folgendem Abschnitt liegen die Beschreibungen des Bundesverbandes Kamera zugrunde.<sup>78</sup>

Mehrfach erwähnt, gehört das Datenmanagement zu den Obliegenheiten des DIT. Darüber hinaus bedient er Monitore, Signalkonverter oder etwaige Rekorder für die Aufzeichnung. Er ist dabei, wenn nicht anders abgestimmt, für die Versorgung aller Departments mit einem Bild verantwortlich. Dies gilt insbesondere für die Regie. Bei kameratechnischen Problemen ist der DIT der erste Ansprechpartner. Seine Aufgabe ist es, Ausfälle schnellstmöglich zu beheben und so einen reibungslosen Drehablauf zu gewährleisten. Kommt er an die Grenzen seiner fachlichen Kompetenz und seinen Möglichkeiten am Set, setzt er sich in Verbindung mit dem Verleih und berät über eine zügige Lösung des Problems. Eine weitere Aufgabe ist die *Live-Kontrolle* des Bildes in technischer Hinsicht. Dabei achtet er auf banale Dinge, wie Gegenstände, Kabel oder sonstige Aufbauten, die nicht in die Szene gehören. Den Kameraassistenten kann er bei der Schärfe unterstützen, die er ebenfalls am Monitor kontrolliert. Je nach Arbeitsweise des DoP unterstützt er diesen bei der Belichtung. Dabei muss der DIT sowohl mit der technischen als auch mit kreativer Belichtung vertraut sein und gerade bei der Belichtung in kritischen Motiven für die Einhaltung der technischen Grenzen sorgen, ohne dabei die kreativen Gestaltungsmöglichkeiten zu beschneiden.

Im Einklang mit den kreativen Gestaltungsmöglichkeiten ist der DIT mit den Grundlagen der Optiklehre und der Filterkunde vertraut. Weiter sollte er über eine geschulte Farbwahrnehmung verfügen, um auf nötige Anpassungen in den Bildparametern hinweisen zu können und diese anschließend in Absprache mit dem DoP vornehmen zu können. Zuletzt

---

<sup>78</sup> vgl. BVKamera.org: Berufsbild DIT (Digital Image Technician)

führt der DIT nach dem Kopiervorgang die erste technische Kontrolle durch, bei der er je nach Zeit eine Auswahl an Clips am Data-Wrangling-Spot überprüft.

### 3.4 Kamera-Setup

Die bestehenden Kamerasysteme liefern diverse, tief greifende Einstellungsmöglichkeiten. Die Ansätze in der Menüführung sind von Kamera zu Kamera sehr unterschiedlich und sind teilweise recht kompliziert aufgebaut. Aus diesem Grund ist als erster Schritt zu einem Kamerareset zu raten und anschließend alle Einstellungen von Grund auf neu zu wählen. So kann vermieden werden, dass falsche Grundeinstellungen übersehen werden.

In diesem Zusammenhang stellen die meisten Kamerahersteller sog. *Menu-Settings-Charts*<sup>79</sup> zur Verfügung. Diese stellen die Menüführung in der Regel in einem Baumdiagramm dar. Gerade bei selten angewählten Menüpunkten erspart eine solche Karte langes Suchen. Die wichtigsten Parameter für das *Kamera-Setup* werden in untenstehender Tabelle aufgelistet. Insbesondere bei der Festlegung der Sensorparameter ist auf besondere Sorgfalt zu achten. Diese sollten auch während des Drehs hin und wieder auf Richtigkeit überprüft werden.

In der Regel zeichnen Kameras *Projekt-Metadaten* für jeden Clip auf. Teil dieser Daten sind Informationen zum Projekt, welche nicht falsch sein sollten, da es sonst möglicherweise zu Verwirrungen in der Postproduktion kommen könnte. Weitere nützliche Einstellungen sind die Belegung der meist vorhandenen *User-Keys*<sup>80</sup> und die Einstellung von Belichtungshilfen und dergleichen. Diese sollten in Absprache mit dem DoP belegt und eingestellt werden.

Tabelle 2: Kamera-Setup

Sensorparameter	Aufnahmeparameter	Monitorausgabeparameter
Bildfrequenz	Bildfrequenz (bei highspeed)	Ausgabeformat
Schutter / Verschluss	Aufzeichnungsmedium	Farbraum
Empfindlichkeit	Formateinstellung	Statusinformationen / Metadaten
Weißabgleich	Timecode Einstellung	
	Farbraum	

<sup>79</sup> dt. Menüeinstellungsdiagramm

<sup>80</sup> dt. Benutzerknöpfe



### 3.5 Videovillage und Instrumente aus der Signalmesstechnik

Abhängig von den finanziellen Mitteln, die für eine Produktion zur Verfügung stehen, fällt der Umfang der technischen Mittel aus. So auch die Größe des aus dem englischsprachigen kommenden *Videovillage*<sup>81</sup>. Dieses umfasst die Vielzahl an Monitoren und Instrumenten, die bei großen Filmproduktionen – eventuell mit Mehrkameratechnik – zusammenkommen. Mit Blick auf die Sicherung der technischen Abläufe sind diese Geräte und Monitore von großer Wichtigkeit, da sie nicht nur zu Vorschauzwecken genutzt werden, sondern auch als Messinstrumente dienen.

Im Videovillage wird zunächst mit HD-Signalen gearbeitet, die über *HD-SDI-Schnittstellen* übertragen werden. Die Verteilung des Videosignals an die verschiedenen Gewerke kann dabei auch als SD-Signal erfolgen. An dieser Stelle soll Angemerkt werden, dass Geräte mit HD-SDI-Signalen nicht parallel angeordnet werden dürfen, sondern das Signal jeweils durch die Geräte geschleift werden muss. Die Gesamtlänge der Verkabelung ist dabei begrenzt.<sup>82</sup>

#### 3.5.1 Produktions- und Assistentenmonitore

Im Gegensatz zu Produkten aus dem Heimbereich sind die Ansprüche an Produktionsmonitore wesentlich größer. Die *EBU* gibt in diesem Sinn eine Empfehlung ab, nach der Monitore in drei Qualitätsstufen eingeteilt werden. Die folgenden Absätze zu diesen Qualitätsstufen basieren auf der Spezifikation *EBU-Tech 3320*, die im Oktober 2010 veröffentlicht wurde.

Die beste Qualitätseinstufung stellen dabei *Grade-1-Monitore* dar. Sie sind Referenzmonitore und können als Messinstrumente gesehen werden, da mit ihnen die bestmögliche visuelle Beurteilung der Bildqualität möglich ist. Entsprechend hoch sind die Anforderungen für diese Einstufung, mindestens jedoch müssen die Qualitätsstandards des zu überprüfenden Signals eingehalten werden. Das Signal darf nicht modifiziert oder verfälscht und etwaige Fehler müssen dargestellt werden. Damit einhergehend sollte ein *1:1-Pixelmapping* mit nativer Wiedergabe möglich sein. Anwendung finden Referenzmonitore vorwiegend in den Bereichen Farbkorrektur und Qualitätskontrolle bzw. technische Abnahme. *Grade-2-Monitore* sind Kontrollmonitore, die im Vergleich zu Referenzmonitoren größere Toleranzen durch die Spezifikation haben. Sie finden vor allem Anwendung, wenn geringere Anforderungen in der Farbwiedergabe gesetzt sind oder eine abgespeckte Ausstattung ausreichend ist. Gemeint sind

---

<sup>81</sup> dt. Videodorf

<sup>82</sup> vgl. Silvio Reichenbach In: Interviewprotokoll, 2f

damit zum Beispiel Vorschau-monitore, Monitore in Schnitträumen oder an Regiewänden. *Grade-3-Monitore* sind hingegen reine Beobachtungs-monitore mit Toleranzen, die den von Konsumerprodukten ähneln. Unterschiede liegen hier lediglich in den Bereichen Schnittstellen, Robustheit und Mobilität.

Folgende Tabelle verschafft Überblick über ausgewählte Toleranzen. Hier werden die Unterschiede insbesondere in Bildleuchtdichte, Schwarzpegel und Kontrast deutlich.

Tabelle 3: Anforderungen an Studiomonitore nach EBU-Tech 3320<sup>83</sup>

	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Bildleuchtdichte	70 bis 100 cd/m <sup>2</sup>	70 bis 200 cd/m <sup>2</sup>	70 bis 250 (400) cd/m <sup>2</sup>
Schwarzpegel	< 0,05 cd/m <sup>2</sup>	< 0,4 cd/m <sup>2</sup>	< 0,7 cd/m <sup>2</sup>
Vollkontrast	> 2000:1	> 500:1	> 300:1
Semultankontrast	> 200:1	> 100:1	> 100:1
Farbtemperatur	D <sub>65</sub>	D <sub>65</sub> ; optional 3200K	D <sub>65</sub> ; optional 3200K
Latenzzeit		< 10ms (spez. Modus)	< 10ms (spez. Modus)
Bildgröße und Abstand	Abstand entspricht der dreifachen Bildschirmhöhe		

Vollkontrast - beschreibt Kontrast zwischen Weiß und Schwarz im dunklen Raum, nacheinander angezeigt.

Semultankontrast - beschreibt Kontrast zwischen Weiß und Schwarz in einem Testmuster, gleichzeitig angezeigt.

Der Assistentenmonitor ist an der Kamera montiert und dient dem 1. Kameraassistenten in erster Linie als Bildgeber. Er ist nicht als Messinstrument im Sinne der Definition zu Grade 1 zusehen. Dennoch gibt es im Unterschied zu Produktionen mit Filmkameras in der digitalen Technik die Möglichkeit der Beurteilung der Schärfe über den Monitor. Hierzu sollte dieser möglichst die folgenden Funktionen aufweisen.

Ähnlich wie bei der Kamera selbst sind *User-Keys* für die schnelle An- und Abwahl dieser Funktionen nützlich. Weiter kann ein integrierter Schärfenassistent hilfreich sein, mit dem einer dieser User-Keys belegt werden kann. Von vielen Monitoren unter anderem auch Assistentenmonitoren werden die *Pixel-to-Pixel-Funktion* bzw. weitere Zoomfunktionen unterstützt. Hierbei wird das Bild weniger herunterskaliert und lediglich ein Ausschnitt des Bildes gezeigt. Die Pixel-to-Pixel-Funktion zeigt dabei einen nicht-skalierten Bildausschnitt. Letztlich sollte der Assistentenmonitor Signale durchschleifen können und eine geringe Latenzzeit aufweisen. Wenn der Kameraassistent mit Hilfe des Monitors fokussiert, kann ein zeitversetztes Bild zu Unschärfen führen.

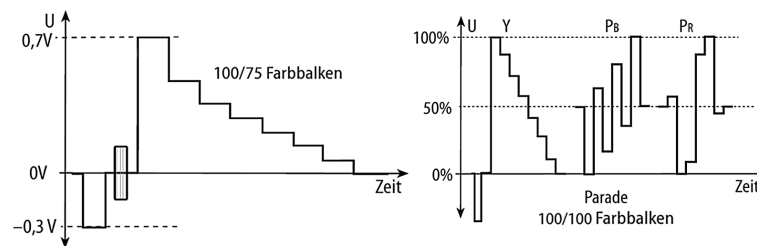
<sup>83</sup> vgl. EBU-Tech 3320, 7ff u. Schmidt 2009, 473

### 3.5.2 Waveformmonitor

Der *Waveformmonitor* hat seinen Ursprung in der analogen Videotechnik und ist ein Messgerät zur Kontrolle der *Luminanz-* und *Chrominanzpegel* eines Videosignals. Die Pegel werden dabei in einem zweidimensionalen Koordinatensystem dargestellt, indem der einzelne Graph den Spannungsverlauf einer Bildzeile über die Zeit darstellt. Die maximale Amplitude (100% Weiß) soll dabei dem Maximalvideopegel von 0,7V entsprechen und der Schwarzwert bei 0V liegen.<sup>84</sup>

Abbildung 20 zeigt links das Luminanzsignal einer Zeile eines 100/75 Farbbalkens. Das Signal beginnt zunächst mit der *Austastlücke* im negativen Bereich und wird mit dem *Synchronpunkt* fortgesetzt, bevor der Farbbalken selbst dargestellt wird. Rechts ist die *Paradendarstellung* eines *Komponentensignals* zusehen, welche die Luminanz- und Chrominanzpegel getrennt und in der Zeit gestaucht wiedergibt.

Abbildung 20: 100/75 Farbbalken und Paradendarstellung<sup>85</sup>

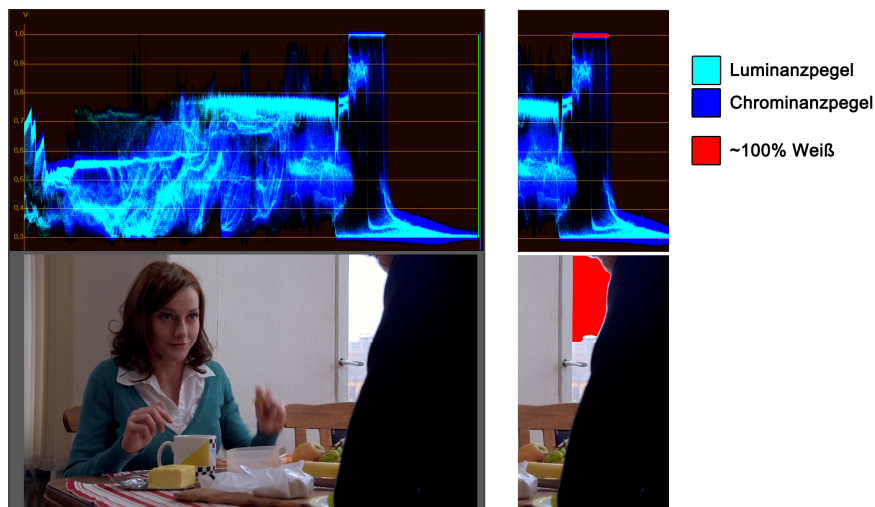


In der Digitaltechnik wird der Waveformmonitor unter anderem auch im Videovillage eingesetzt und dient dem DIT zur Überprüfung der Signale in Bezug auf die Einhaltung der technischen Grenzen bei der Belichtung. Neben der zeilenweisen Betrachtung gibt es für die Beurteilung auch die Möglichkeit der Untersuchung des gesamten Bildes. Hierfür werden die Graphen aller Zeilen gleichzeitig im Koordinatensystem dargestellt und bilden eine Schar. Diese Graphenschar gibt schließlich Aufschluss über die Helligkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Bildspalten. Die Darstellung ist dabei mit der eines analogen Waveformmonitors identisch und wird ebenfalls mit der analogen Skala versehen.

Abbildung 21 zeigt ein als 422-Komponentensignal aufgezeichnetes Beispielbild und die zugehörige Waveformdarstellung mit einer Skala von 0V bis 1V, die der Einteilung von -0,3V bis 0,7V entspricht. Die Luminanzpegel sind cyan eingetragen, während die Chrominanzpegel blau

<sup>84</sup> vgl. Schmidt 2009, 109f

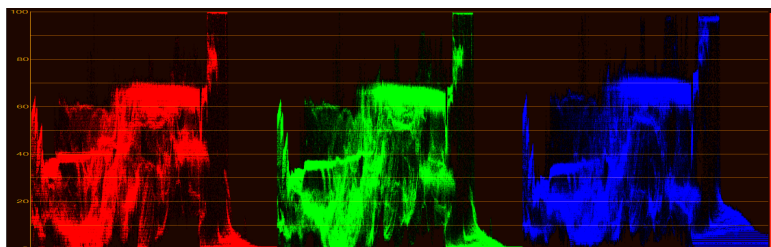
<sup>85</sup> linke Grafik wurde angepasst, ursprünglich wurde ein übersteuertes Signal gezeigt

Abbildung 21: Waveformdarstellung (Beispielbild)<sup>86</sup>

dargestellt sind. Der kleine Ausschnitt auf der rechten, unteren Seite verdeutlicht, wie die im Bild rot markierte Fläche mit einem Wert von rund 100% als eine horizontale Linie im Waveformmonitor angezeigt wird. Es kann festgehalten werden, dass mit dieser Darstellungsform allein keine genaue örtliche Lokalisierung möglich ist. Diese ist nur durch Abstraktion in Verbindung mit dem analysierten Bild möglich. Über die Beurteilung des für die Belichtung relevanten Luminanzpegels hinaus, gibt die Waveformdarstellung nur wenig Aufschluss über die Chrominanzsignale und deren Qualität<sup>87</sup>.

Abbildung 22 zeigt die RGB-Parade des Beispielbildes. Dabei ist zu beachten, dass das Ursprungssignal in 422-Komponenten vorliegt und die RGB-Auszüge demnach zurück gewonnen wurden. Dennoch soll es in diesem Fall zur Veranschaulichung dienen. Das Luminanzsignal eines

Abbildung 22: RGB-Parade eines Waveformmonitors (Beispielbild)



<sup>86</sup> Skala wurde aus Platzgründen unterhalb angeschnitten

<sup>87</sup> vgl. Schmidt 2009, 112

Komponentenstroms unterliegt nach HD-SDI-Norm folgender Gleichung aus der ITU-R BT.709:

$$Y = 0,213 R + 0,715 G + 0,072 B$$

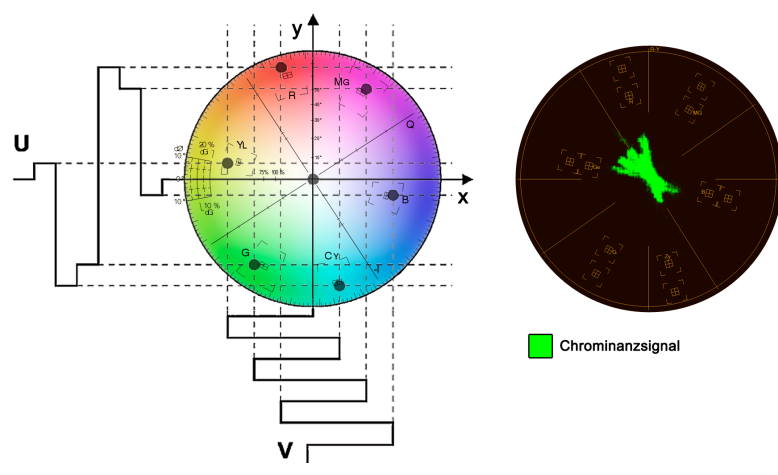
Ausgehend von einem Maximalpegel „Y=1“, ist festzuhalten, dass um diesen Wert zu erreichen, alle drei RGB-Kanäle ebenfalls den Wert „1“ annehmen müssen. Im Rückschluss heißt das auch, dass zwei der RGB-Kanäle zur gleichen Zeit den Wert „1“ annehmen können – sie können also übersteuern – obwohl weiterhin „Y≠1“ bestehen bleibt und keine Übersteuerung anzeigt. Mit Hilfe der RGB-Parade kann auch dieser theoretische Fall ausgeschlossen werden. Allgemein empfiehlt sich der Wechsel zwischen beiden Darstellungsformen, da das Signal so am besten beurteilt werden kann.<sup>88</sup> In vielen Produktionsmonitoren sind beide Formen integriert. Andernfalls wird ein externer Waveformmonitor benötigt.

### 3.5.3 Vektorskop

Das *Vektorskop* ist ein Messinstrument zur Beurteilung von Farben. Dabei stellt es die Beziehung zwischen den *Chrominanzanteilen* eines *Komponentensignals* in der Vektordarstellung her. Jeder Farbwert besitzt dabei einen Vektor, dessen Länge die Farbsättigung und Farbhelligkeit definiert und dessen Winkel den Farbton kennzeichnet.<sup>89</sup>

Abbildung 23 zeigt links, wie das *U-Signal* ( $C_B$ ) die y-Auslenkung und das *V-Signal* ( $C_R$ ) die x-Auslenkung in einem Vektorskop bedingt. Zusammen ergeben beide Auslenkungen die Koordinaten für den entsprechenden Vektor. Auf der rechten Seite wird die Vektordarstellung des

Abbildung 23: Funktionsprinzip eines Vektorskops und Beispielbild



<sup>88</sup> vgl. Silvio Reichenbach In: Interviewprotokoll, 3

<sup>89</sup> vgl. Schmidt 2009, 112ff

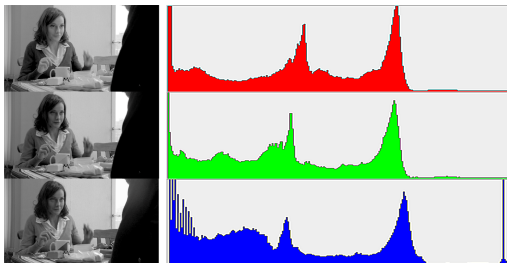
Beispielbildes aus Abbildung 21 gezeigt. Hier bilden alle Vektoren der Pixel des gesamten Bildes eine Schar und werden lediglich mit einem grünen Endpunkt dargestellt. Wie beim Waveformmonitor wird in digitalen und analogen Geräten die gleiche Darstellungsform verwendet. Die Farben Rot, Gelb, Grün, Cyan, Blau und Magenta haben dabei im Koordinatensystem fest markierte Punkte, die als eine Art Skala dienen. Wird ein *Farbbalkensignal* auf einem Vektorskop angezeigt, so sollten die Endpunkte auf den Punkten der Skala liegen. Für gewisse Abweichungen sind Toleranzfelder markiert, mit denen das Signal beurteilt werden kann.<sup>90</sup>

Am Set einer digitalen Filmproduktion findet das Vektorskop nur selten Verwendung. Vor allem aber im Studio oder bei *Live-Sendungen* wird es benötigt, um Geräte und Rekorder anhand des Farbbalkensignals einzumessen und aufeinander abzugleichen. Diese Anwendung ist auch an einem Filmset denkbar, wenn mehrere Kameras verwendet werden. Die Kameras können mit einem Vektorskop im Weißabgleich aneinander angeglichen werden. Diese Anwendung kommt allerdings nicht häufig vor.<sup>91</sup>

#### 3.5.4 Histogramm und RGB-Histogramm

Neben dem *Waveformmonitor* gibt es ein weiteres Hilfsmittel zur Kontrolle der Einhaltung der technischen Grenzen in der Belichtung, über das viele Kameras, vor allem professionelle *HD-Camcorder*, intern verfügen.<sup>92</sup> Das *Histogramm* in der Kameratechnik ist die graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der auftretenden Helligkeitswerte im Bild. Dabei werden beginnend beim Schwarz links die dunklen Töne angezeigt. Darauf folgen die Mitten in der Mitte des Histogramms und rechts werden schließlich die Lichter dargestellt. Das Histogramm lässt dabei allerdings keine Aussage über die örtliche Verteilung der Helligkeiten zu. Wie beim Waveformmonitor zeigt hier das Histogramm das *Luminanzsignal* und das *RGB-Histogramm* die separaten Farbkanäle. (s. Abb. 24)

Abbildung 24: RGB- Histogramm



<sup>90</sup> vgl. Schmidt 2009, 113

<sup>91</sup> vgl. Silvio Reichenbach In: Interviewprotokoll, 4

<sup>92</sup> vgl. Silvio Reichenbach In: Interviewprotokoll, 4

### 3.6 Wandel der Kameraarbeit mit der Digitaltechnik

In diesem Unterkapitel wird der Wandel in der Kameraarbeit in Bezug auf dessen Einfluss auf die Sicherung der technischen Abläufe betrachtet.

Dieser Wandel führt unter anderem zu weiteren Möglichkeiten in der Art und Weise der Belichtung. So kommt es dazu, dass der DoP unter Umständen überhaupt keinen Gebrauch mehr von seinem Belichtungsmesser macht, denn die Belichtung kann durchaus anhand des Monitorbildes einschließlich des *Waveformmonitors* eingestellt werden. Andere DoP benutzen den Belichtungsmesser weiterhin um Kontraste im Bild zu messen, oder aber beim Einleuchten, wenn die Kamera noch nicht aufgebaut ist und kein Bild zur Verfügung steht. Erfahrene DoP zum Beispiel benötigen auch zum Einleuchten keinen Belichtungsmesser mehr.<sup>93</sup>

Die Digitaltechnik bringt in der Belichtung feste, harte Grenzen mit sich, während bei *Negativfilm* auslaufende, weiche Grenzen vorhanden sind. Wird der Maximalpegel einer digitalen Filmkamera an der oberen Grenze erreicht, gib es keine Zeichnung mehr im Weiß und analog dazu an der unteren Grenze im Schwarz. Dabei hört die Zeichnung abrupt auf und es entstehen weiße bzw. schwarze Flächen. Grundsätzlich sind diese Bereiche ohne Zeichnung als technische Fehler zu betrachten. Es muss jedoch an dieser Stelle zwischen technischen Fehlern und kreativer Belichtung unterschieden werden. In manchen Fällen kann es gewünscht sein, dass ganze Bereiche flächig werden. Das können im Innenraum zum Beispiel strahlend helle Fenster nach außen sein, die keine Zeichnung haben sollen. Der DoP muss sich jedoch in diesem Moment bewusst sein, dass er sich mit dieser Entscheidung unwiderruflich festlegt, denn in diesen Bereichen sind keine differenzierten Informationen für eine Korrektur vorhanden.

Im Bereich der Fokussierung sind im Wesentlichen zwei Veränderungen zu erwähnen. Zum einen ist zu nennen, dass sowohl für TV- als auch Filmproduktionen Kameras mit *35mm-Chip* verwendet werden, und zum anderen, dass die Digitaltechnik bei Unschärfen nicht so gnädig ist, wie *Negativfilm*. Leichte Unschärfen sind bei *Negativfilm* wegen der unregelmäßigen Verteilung und Bewegung des Filmkorns weniger auffällig. Die Bilder der digitalen Filmkameras sind teilweise so *scharf* und *knackig*, dass oft Filter wie *Pro-Mist*, *Low-Contrast* oder *Soft FX* genutzt werden.<sup>94</sup> Darüber hinaus steigen gerade bei TV-Produktionen, welche in der Regel auf *16mm-Film* gedreht wurden, die Anforderungen an den 1. Assistenten.

---

<sup>93</sup> vgl. Wheeler 2009, 115f

<sup>94</sup> vgl. Ralph Netzer In: Interviewprotokoll, 1

Die Schärfentiefe des 35mm-Chips ist im Vergleich zu *16mm-Film* wesentlich geringer, was bei der Wahl des Schärfenassistenten bzw. des Kameraassistenten berücksichtigt werden muss. Ein mit *35mm* unerfahrener Assistent kann unter Umständen einen großen Schaden verursachen, wenn häufig Unschärfen auftreten, da dies den gesamten Drehablauf aufhält. Wichtiger noch ist grundsätzlich zu beachten, dass bei 35mm auch ein erfahrener Schärfenassistent mehr Zeit benötigt, um genaue Messungen zu machen. Dabei muss er durch den Materialassistenten unterstützt werden, der Wege und Positionen abgeht.

Als letzter wesentlicher Wandel mit der Digitaltechnik soll in diesem Zusammenhang die günstigen Materialkosten genannt werden. Diese können zur Veränderung der Arbeitsweise am Set führen. Mit den digitalen Aufnahmemedien entstehen keine Material-, Negativenwicklungs- und Abtastkosten mehr, was schlechte Drehverhältnisse beim digitalen Dreh weniger schwerwiegend macht. Dies kann in einigen Bereichen der Branche zu einem sorglosen Umgang mit den Aufnahmelängen und Drehverhältnissen führen. Es besteht die Gefahr, dass verhältnislose Datenmassen entstehen, die in der Postproduktion nur schwer und teuer bewältigt werden können. Im szenischen Zweig der digitalen Kinematografie sollte diese Gefahr jedoch gemäßigt sein, da Regisseur und DoP unter einem zu hohen Produktionsdruck stehen, als dass übermäßig schlechte Drehverhältnisse entstehen<sup>95</sup>.

### 3.7 Potenzielle Probleme kennen und vermeiden

Die in diesem Unterkapitel beschriebenen Probleme können die technischen Abläufe einer digitalen Produktion beeinflussen und so deren Sicherheit gefährden. Zu diesen zählen auch die technisch bedingten, negativen Eigenschaften aus der CCD- und CMOS-Technik, welche in Kapitel 2 behandelt werden.

Mit dem Wandel der Kameraarbeit bekommen Monitore eine größere Bedeutung und stellen gewissermaßen Messinstrumente – auch wenn sie es nach Spezifikation nicht sind – zur Bildbeurteilung dar. Aus diesem Grund sollte die allgemeingültige Regel gelten, dass außer dem DoP und seinen Assistenten niemand Monitore und sonstige zugehörige Geräte anfasst bzw. Einstellungen vornimmt. Gerade, wenn sich Regie und DIT einen Monitor teilen müssen, sollte diese Regel gelten. Schließlich kann sich nur auf einen kalibrierten Monitor verlassen werden. Darüber hinaus, können fehlerhafte Messinstrumente ein Problem darstellen, wenn Signale

---

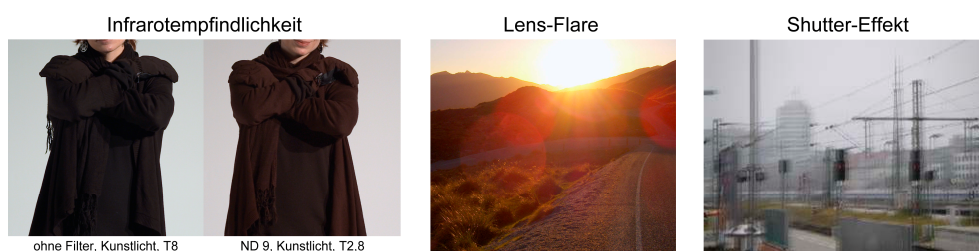
<sup>95</sup> vgl. Ralph Netzer In: Interviewprotokoll, 1



falsch angezeigt bzw. wiedergegeben werden. Aus diesem Grund sind alle Geräte während des Kamertests und sobald Zweifel bestehen auch am Set zu Prüfen. Für diese Kontrolle kann ein Farbbalkensignal verwendet werden.

Mit einem Monitor beurteilbare Fehler sind zum Beispiel Lichteinfall auf Filtern und Linsen, Shutter-Effekte oder die Empfindlichkeit des Bildsensors auf infrarotes Licht. Lichteinfall auf das Linsensystem einer Optik kann zu ungewünschten Linsenreflexionen und einem trüben Bild führen. In manchen Fällen reicht eine *Mattebox* inklusive *Side-Flags*<sup>96</sup> und *Eyebrow*<sup>97</sup> nicht aus, um diesen zu verhindern. Sofern möglich, müssen Fahnen aufgestellt werden. Bei der Verwendung von *ND-Filtern* können Fehler im Zusammenhang mit Infrarotlicht auftreten. Im Vergleich zu Negativfilm sind digitale Kameras empfindlicher auf den Infrarotanteil des Lichts, der daher auch von den lichtempfindlichen Bauteilen des Bildsensors registriert wird. Herkömmliche ND-Filter dämpfen zwar den größten Teil des sichtbaren Lichts, der Infrarotanteil des Spektrums wird dabei jedoch nicht berührt. Das hat zur Folge, dass das infrarote Licht bei der Filterung im Verhältnis zum restlichen Spektrum zunimmt. Dies führt wiederum bei einigen Oberflächen, insbesondere schwarzen, synthetischen Stoffen zu einer rötlich-braunen Färbung im Bild. (s. Abb. 25, links) Zur Vermeidung des Effekts stehen spezielle *ND-Filter* mit *IRcut* zur Verfügung. Diese sollten unbedingt ab einer ND-Stufe größer „9“ verwendet werden.<sup>98</sup>

Abbildung 25: Potenzielle Bildfehler



Ebenfalls über den Monitor sichtbar sind eventuell auftretende Shutter-Effekte. Neben dem *Rolling-Shutter-Effect* gibt es weitere *Shutter-Effekte*. Zum Beispiel können, gerade bei Bildfolgen von 24 oder 25 fps, schnelle Kameraschwenks bzw. generell schnelle Bewegungen die Bewegungsauflösung überschreiten. So können ruckelnde Bewegungen oder im Bild

<sup>96</sup> dt. Seitenfahne bzw. Seitenflügel eines Kompendiums

<sup>97</sup> dt. Augenbraue, obere Flügel eines Kompendiums

<sup>98</sup> vgl. ARRI.com: Can I use traditional ND filters with ALEXA?

springende Gegenstände entstehen.<sup>99</sup> Das digitale Ghosting ist ein Effekt, der sowohl im analogen Bereich als auch in der digitalen Kinematografie bei der Signalübertragung erzeugt wird. Hier können defekte Kabel, Stecker oder Wandler die Ursache der Reflexionen sein.<sup>100</sup> *Moiré-Effekt*, *Blooming* und *Smear-Streifen* wurden bereits in anderen Teilen dieser Arbeit beschrieben und sind ebenfalls den direkt sichtbaren Bildfehlern zuzuordnen. Weitere Fehlertypen, die nicht bei der *Live-Kontrolle* entdeckt werden können, werden in Kapitel 5 beschrieben.

Neben Bildfehlern gibt es darüber hinaus technisch bedingte Problemquellen, die beachtet werden müssen. So ist in der Digitaltechnik die Anfälligkeit auf extreme Kälte, Hitze und Temperaturwechsel ausgeprägter. Zu dem haben digitale Filmkameras einen höheren Stromverbrauch. Das ist in diesem Sinne kein Problem, muss allerdings beachtet werden. Schließlich sind nun mehr Akkumulatoren notwendig, um mit den gegebenen Ladezeiten einen reibungslosen Ablauf beim Dreh zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang sollte das Abschalten der Kamera durch Stromausfälle, beispielsweise durch leere Akkumulatoren, vermieden werden. Unter Umständen können diese zu korrupten Clips führen, bei denen zwar die Bildinformationen vorhanden sind, aber nicht korrekt wiedergegeben werden können. Darüber hinaus sollte nach so einem Ausfall das *Kamera-Setup* kontrolliert werden, da dieses eventuell zurückgesetzt bzw. verändert sein könnte. Als letztes sollen defekte Kabel als Fehlerquelle genannt werden, die sowohl am Set zu Verzögerungen als auch zu größeren Problemen in der Datensicherung führen können.<sup>101</sup>

---

<sup>99</sup> vgl. Bet.de: Shutter-Effekt u. Movie-College.de: Kameraschwenk

<sup>100</sup> vgl. Silvio Reichenbach In: Interviewprotokoll, 5

<sup>101</sup> vgl. Silvio Reichenbach In: Interviewprotokoll, 5

## 4 Datensicherheit und Analyse des Datenworkflows

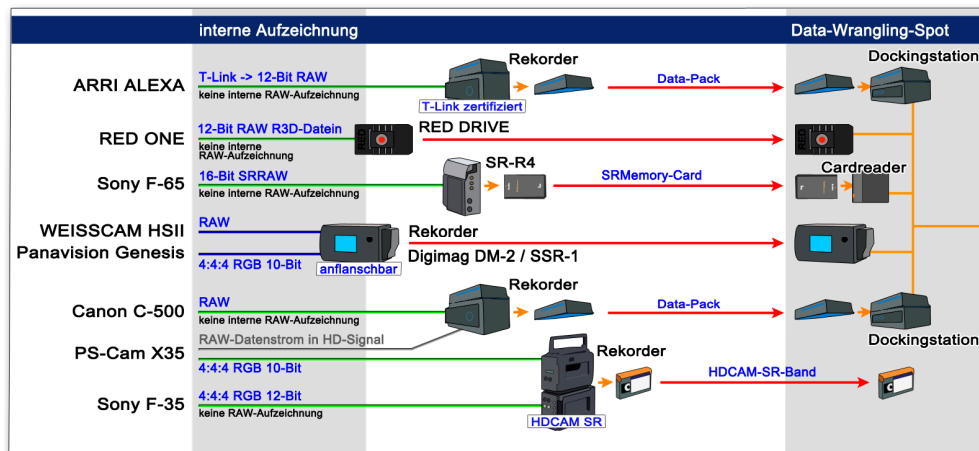
Wie bereits in Kapitel 2 deutlich wurde, ist mit der Kamerawahl auch ein bestimmter *Workflow* verbunden. Dieser wirkt sich zum einen auf den Workflow innerhalb der Postproduktion aus, zum anderen jedoch auch auf die Arbeitsabläufe am Set und das Datenmanagement. Im folgenden Abschnitt sollen zunächst die verschiedenen Aufzeichnungssysteme und die damit verbundenen Datenworkflows beschrieben werden.

### 4.1 Aufzeichnungssysteme der aktuellen digitalen Filmkameras

Grundlegend kann im Bereich der Aufzeichnungssysteme zwischen *Band-* und *clip-basierender* Aufzeichnung unterschieden werden. Für beide Varianten gibt es interne und externe Lösungen, wobei es bei den aktuellen digitalen Filmkameras keine interne Bandaufzeichnung gibt. Hierfür stehen externe Lösungen zur Verfügung, die zudem kameraunabhängig sind, da alle Kamerasysteme *HD-SDI*-Ausgänge besitzen. Üblicherweise wird in *HDCAM SR* auf Magnetband aufgezeichnet. Das birgt theoretisch den Vorteil, dass das Band aus dem Rekorder genommen und an anderer Stelle ohne weiteren Aufwand in bester Originalqualität wiedergegeben werden kann. Allerdings würde dies das Rohmaterial gefährden.

Für die *RAW*-Aufzeichnung gibt es clip-basierende Lösungen. Hier werden die verschiedenen RAW-Formate oder aber *Codecs* wie der *ProRes Familie* in abgeschlossenen Dateien aufgezeichnet. Sobald an der Kamera der Aufnahmeknopf betätigt wird, erstellt sie eine neue Datei mit meist diskretem Namen und schließt die Datei mit Beenden der Aufnahme ab. Somit wird für jeden Take ein neuer Clip erzeugt. Die meisten Kameras mit clip-basierender Aufzeichnung stellen eine interne Lösung bereit, die auf Speicherkarten aufnimmt. Diese können vom DIT gesichert und wieder verwendet werden. Dies gilt jedoch nicht für die *RAW*-Aufzeichnung. Nachstehend sollen die Aufzeichnungssysteme für die *RAW*-Workflows der einzelnen digitalen Filmkameras beschrieben werden. Es soll angemerkt sein, dass die *PANAVISION GENESIS* und *SONY F-35* kein *RAW* unterstützen, aber dennoch dargestellt werden.

So unterschiedlich die verschiedenen System sind, basieren sie alle auf dem Prinzip ein Speichermedium für den Transport vom Set zum Data-Wrangling-Spot zu verwenden, wo die sensiblen Daten gesichert werden. Ist die Sicherung erfolgt, wird das Medium formatiert und erneut verwendet. Abbildung 26 zeigt eine Zusammenstellung der Aufzeichnungssysteme für die *RAW*-Workflows der betrachteten Kamerasysteme.

Abbildung 26: Aufzeichnungssysteme für RAW-Workflows<sup>102</sup>

Die ARRI ALEXA verwendet für den Datentransport *Data-Pack-basierende* Rekorder, welche für die ARRIRAW-Aufzeichnung T-Link zertifiziert sind. Der Rekorder wird dabei über die T-Link-Datenverbindung mit der Kamera an der *Duallink HD-SDI*-Schnittstelle verbunden. Der Rekorder selbst kann an der Kamera montiert werden. Das Data-Pack kann gewechselt und über eine Dockingstation am Data-Wrangling-Spot gesichert werden. Die Kameras WEISSCAM HS-2 und PANAVISION GENESIS verwenden ebenfalls Rekorder zur Aufzeichnung. Diese können entsprechend dem System angeflanscht werden. Zur Datensicherung muss der Rekorder selbst getauscht, die Daten gesichert und anschließend gelöscht werden. Ein weiteres System mit Rekorder wird bei der SONY F-65 angewandt. In diesem Fall zeichnet der Rekorder auf *SR-Memory-Karten* auf, welche über ein entsprechendes Kartenlesegerät gesichert werden.

Eine auf Festplatten beruhende Umsetzung wird bei der RED ONE verwendet. Das sog. RED DRIVE wird an der Kamera vibrationsgedämmt montiert und angeschlossen. Zur Datensicherung wird die Festplatte direkt an das *Mac Book* bzw. den Computer angeschlossen. Bei der neuen CANON C-500 soll die RAW-Aufzeichnung über eine *3G-SDI*-Schnittstelle und einem entsprechenden Recorder erfolgen<sup>103</sup>. Für die PS-CAM X35 war die RAW-Aufzeichnung bis zum Anfang 2012 geplant. Seit kurzem gibt es die Möglichkeit, einen RAW-Datenstrom in einem HD-Signal auf einem entsprechenden HD-Rekorder aufzuzeichnen. Erst in der Postproduktion kann

<sup>102</sup> erhoben aus Datenblättern: ARRI, ARRI ALEXA; Sony, F65; Sony, F-35; P+S Technik, PS-Cam X35; P+S Technik, WEISSCAM HS-2 MK II; aus dem Internet: RED.com: Tech Specs (RED ONE); Codexdigital.com: ARRIRAW Feature Film; Panavision.com: SPECS

<sup>103</sup> vgl. DigitalProduction.com: Cinema Eos C500 4k RAW-Camcorder

der RAW-Datenstrom mit Hardware der Firma BlueFish auch als solcher übertragen werden. Eine Kooperation mit der Firma *Codex* ist in Planung, welche die Aufzeichnung eines wirklichen RAW-Signals umsetzen soll.<sup>104</sup>

Die Bandaufzeichnung auf HDCAM SR steht allen Kamerasystemen neben der RAW-Aufzeichnung zur Verfügung. Die SONY F-35 hingegen unterstützt lediglich diese Form. Über einen externen HDCAM SR Rekorder wird das Material aufgezeichnet. Das Band wird nach Drehschluss ohne eine Datensicherung als Original an die Postproduktion weitergeleitet, wo es überspielt und gesichert wird. Der weitere Umgang mit den Bändern am Set wird vermieden, um das Wertvolle Rohmaterial zu schützen. Für eine Ansicht des Materials während des Drehs, kann parallel eine weitere Aufzeichnung gemacht werden.<sup>105</sup>

## 4.2 Data-Wrangling-Spot und Datensicherung

Bevor das hochsensible Rohmaterial ins Postproduktionshaus gelangt, wo es lokal gesichert wird, muss es noch am Set eine Zwischenstation durchlaufen. Schon mehrfach erwähnt, ist der *Data-Wrangling-Spot* gewissermaßen eine Erweiterung mit der Digitaltechnik, die wesentlich zur Steigerung der Sicherheit einer Produktion beiträgt. Am Data-Wrangling-Spot werden die erste Datensicherung sowie die erste technische Kontrolle des Materials vorgenommen. Der Data-Wrangling-Spot ist dabei keine feste Einrichtung bzw. hat keinen festen Standort. Im Idealfall steht dem DIT ein sog. *DIT-Mobil* zur Verfügung, mit dem er auch im Gelände örtlich flexibel ist. Der DIT wird schließlich auch am Motiv während des Drehs gebraucht. Deshalb sollte, um lange Laufwege zu vermeiden, die Datensicherung in der Nähe möglich sein.

### 4.2.1 Technische Ausstattung am Data-Wrangling-Spot

Die für den *Data-Wrangling-Spot* zur Verfügung stehende Technik sollte bestimmten Kriterien bei der Datensicherung am Set entsprechen. Das ist in erster Linie ein hohes Maß an Sicherheit und Mobilität.

Aufgrund der Flexibilität verwenden viele DIT ein *Mac Book* bzw. *Mac Book Pro*, welches mit den anderen Geräten auch auf einem *MagLiner*<sup>106</sup> Platz findet. Neben *Cardreadern*, *Dockingstations* und diversen Kabeln für die entsprechenden Aufzeichnungssysteme, gibt es verschiedene Softwares zur Datensicherung. Diese werden von den Kameraherstellern selbst

---

<sup>104</sup> vgl. P+S Technik In: Interviewprotokoll, 1

<sup>105</sup> vgl. Silvio Reichenbach In: Interviewprotokoll, 6

<sup>106</sup> Wagen für den Transport von Koffern und Taschen am Set

angeboten und darüber hinaus auch von Fremdanbietern. Weitere Geräte sind in jedem Fall Festplatten und eine Notstromversorgung. Zur Datensicherung empfiehlt sich ein *Raidssystem*<sup>107</sup>, das die Notwendigkeit von mehreren Kopien auf verschiedenen Festplatten erübrigt. Die Festplatten im Allgemeinen, sowie die Cardreader sollten eine möglichst hohe Datenrate unterstützen, damit die Kopiervorgänge entsprechend kurz gehalten werden können. Die Notstromversorgung ist in diesem Zusammenhang ebenfalls wichtig und sollte für mindestens 30 Minuten das Mac Book und die Festplatten versorgen können. Im Zweifelsfall könnten laufende Kopiervorgänge trotzdem beendet werden. Ein Ausfall während des Kopiervorgangs birgt die Unsicherheit, ob die bereits kopierten Daten intakt sind. Deshalb sollten sämtliche Daten aus dem betreffenden Kopiervorgang erneut kopiert werden, um Datenfehler auszuschließen.

#### 4.2.2 Datensicherung

Folgendem Abschnitt liegen Informationen und Erklärungen aus einem von der *CinePostproduction GmbH* veröffentlichten Video zugrunde.<sup>108</sup>

Digitale Daten können direkt am Set gesichert werden. Für diese Sicherung werden üblicherweise zwei Sicherungskopien erstellt. Das sind das *On-Set-Backup*, welches die gesamte Drehzeit über am Set bzw. im *DIT-Mobil* belassen wird, und das *Transferbackup*, welches täglich ausgetauscht wird.

Abbildung 27 zeigt zunächst, wie die verschiedenen Medien mit dem Mac Book verbunden werden und das On-Set-Backup den Tag über erstellt wird. Hier bietet sich an, zuerst das Material des gesamten Tages zu sammeln, bevor es auf das Transferbackup kopiert wird. Je nach Wert des Materials werden die zu sichernden Daten für das On-Set-Backup auf einem *Raidssystem* gespeichert. Ein *Level-5-System* zum Beispiel spiegelt die Daten in fünffacher Ausführung auf separate Festplatten. Sollte es zum *Datencrash* einer Festplatte kommen, sind die Daten weiterhin ungefährdet. Das Transferbackup wird in einfacher Ausführung auf einer Festplatte erstellt und am Ende des Drehtages zur Postproduktion gebracht, wo es wiederum gesichert wird.

Es ist zu beachten, dass jeder Kopiervorgang Fehlerquellen im Zusammenhang mit der Datenübertragung birgt. Aus diesem Grund wird eine sog. *Prüf- bzw. Check-Summe* aus den zu übertragenen Daten gebildet, die ebenfalls übertragen wird. Aus den kopierten Daten wird

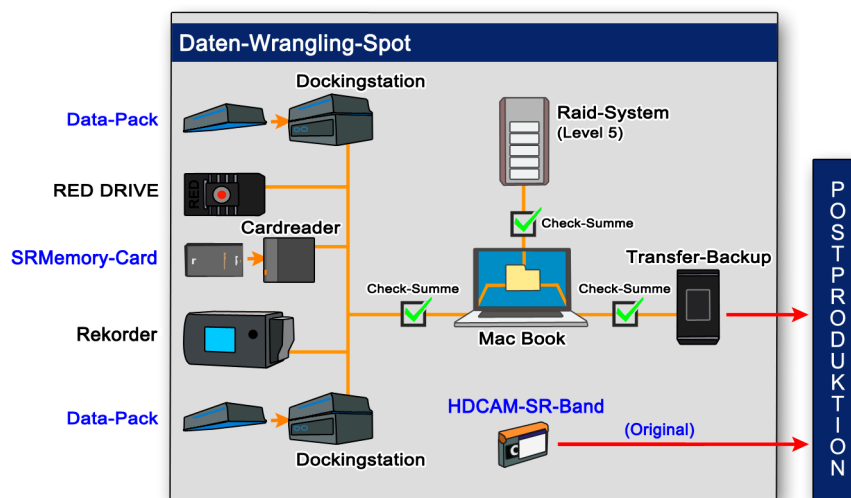
---

<sup>107</sup> RAID, dt. Redundante Anordnung unabhängiger Festplatten

<sup>108</sup> vgl. CinePostproduction.de: Video. Digital Dailies Workflow

gleichermaßen eine Prüfsumme gebildet, die anschließend mit der übertragenen Prüfsumme abgeglichen wird. Sind die Prüfsummen identisch, kann davon ausgegangen werden, dass die Daten vollständig und korrekt übertragen wurden. Der *Message-Digest Algorithm 5 (MD5)*<sup>109</sup> ist dabei ein gängiges Verfahren. Es gibt Algorithmen für mehr Sicherheit, die hingegen zeitaufwändiger sind.

Abbildung 27: Datensicherung



#### 4.2.3 Digitaler Fusselcheck und erste technische Kontrolle

Die erste technische Kontrolle am Set sowie der *digitale Fusselcheck* stellen wichtige Teile im Aufgabenfeld des DIT dar. Sie tragen wesentlich zur Sicherung der technischen Abläufe in der digitalen Kinematografie bei, da massive technische Fehler bereits am Set entdeckt werden können.

Die meist *clip-basierende* Aufzeichnung ermöglicht den digitalen Fusselcheck, der direkt nach einzelnen Takes bei eventuellen Unsicherheiten, beispielsweise in der Schärfe, durchgeführt wird. Die erste technische Kontrolle am *Data-Wrangling-Spot* fällt dabei umfangreicher aus. Diese führt der DIT je nach Zeit stichprobenartig oder bei allen *Kopierern*<sup>110</sup> durch, um Fehler im möglichen Rahmen auszuschließen. Werden Probleme gefunden, kann deren Schwere abgeschätzt und die betroffene Szene bzw. die betroffenen Takes möglicherweise noch am gleichen Tag wiederholt werden. Dies würde einen teuren Wiederholungstag vermeiden.

<sup>109</sup> dt. Nachrichtenabriss-Algorithmus 5

<sup>110</sup> Im Negativfilmworkflow werden nur zu verwendende Takes kopiert bzw. abgetastet und *Kopierer* genannt. Analog werden im digitalen nur zu verwendende Clips weiter bearbeitet.

Weder der digitale Fusselcheck noch die erste Kontrolle am Data-Wrangling-Spot ersetzen die Qualitätskontrolle in der Postproduktion bzw. die *On-Set Dailies* (s. Kap. 4.3). Sie stellen lediglich eine erste Sichtung und Kontrolle am Set dar. Erst in der Postproduktion kann definitiv und sicher beurteilt werden, ob etwaige Fehler gemacht wurden oder sonstige technische Probleme aufgetreten sind.

#### 4.2.4 Verwaltung und Bewältigung der Daten

An einem digitalen Filmset können Datenmassen entstehen, die unter Umständen auf Grund der technischen Einschränkungen, in Form von begrenzten Datenraten, schwer zu bewältigen sind. Gerade wenn Mehrkameratechnik angewandt wird, kann der DIT an die Grenzen des *Data-Wrangling-Spots* gelangen. Umso wichtiger wird bei der *clip-basierenden* Aufzeichnung eine klare Ordnerstruktur, die in jedem Fall eingehalten werden sollte. Diese Struktur kann mit der Postproduktion abgestimmt werden. Üblicherweise wird eine fortlaufende Nummerierung der Karten bzw. Festplatten analog zu den *Filmbüchsennummern* verwendet. Das bedeutet, dass jede kodierte Speicherkarte einen Unterordner mit Bezeichnung der fortlaufenden Kartennummer auf dem Speicher bekommt. Zur Sicherung und Verwaltung der Daten gibt es verschiedene Softwares. Die Kamerahersteller selbst bieten dabei nur speziell für ihr System konzipierte Softwares an.

Eine Software für ein breites Spektrum an Kamerasystemen ist *Silverstack* der Firma *Pomfort* und soll an dieser Stelle als Beispiel beschrieben werden. Neben der reinen Datensicherung verfügt das Programm über nützliche Funktionen für die Organisation und die erste technische Kontrolle des Materials. *Silverstack* erkennt dabei, ob die zu kopierenden Dateien bereits vorhanden sind oder eventuell Clips fehlen. Gleichzeitig führt die Software automatisch Prüfsummen-Vergleiche durch und bietet alles in allem ein hohes Maß an Sicherheit. Weiter können die von der Kamera aufgezeichneten Metadaten von *Silverstack* verwendet werden.<sup>111</sup> Diese erleichtern die Verwaltung und Weiterbearbeitung in der gesamten Postproduktionsphase.

Auch der Transportweg der Speichermedien von der Kamera zum Data-Wrangling-Spot sollte durch ein klares System geordnet sein. Dies bezieht sich insbesondere auf die Beschriftung von Speicherkarten und Festplatten. Es gibt zwar keine allgemeine Handhabung in diesem Bereich, jedoch sollten die Karten grundsätzlich wie eine Filmbüchse behandelt

---

<sup>111</sup> vgl. Pomfort.com: Offload and back up



werden. Schließlich befindet sich wertvolles Rohmaterial auf ihnen und es gibt noch keine Kopie davon. Welches System auch immer gewählt wird, sollte jede Karte eindeutig Beschriftet werden. Mit Daten beschriebene Speichermedien können zum Beispiel mit rotem Klebeband abgeklebt werden, um eine erneute Verwendung vor dem Überspielen zu verhindern. Dabei muss diese Farbbedeutung allen Assistenten bekannt sein. Dieses System könnte weitergeführt werden, indem grünes Klebeband signalisiert, dass das Medium zur Wiederverwendung bestimmt ist. Eine weitere Möglichkeit wäre auch, dass allein der DIT die Speichermedien formatiert. So wäre der zuständige Assistent sofort allarmiert, sobald er eine nicht formatiertes Medium in die Kamera einlegt und würde diese dem DIT zur Kontrolle zurückgeben.

#### 4.2.5 Datensicherheit im Vergleich zu Negativfilm

Sollten einem DIT oder Data-Wrangler Daten verloren gehen, wäre dies mit einem Materialassistenten zu vergleichen, der eine Büchse mit belichtetem Filmmaterial öffnet und somit das Material zerstört. Dies darf genauso wenig passieren, wie das Überschreiben nicht kopierter Daten. In verschiedenen Zusammenhängen wird oft behauptet, digitale Daten und somit digitale *Workflows* seien sicherer als der traditionelle Filmworkflow.

In der Tat ist der Weg vom Set ins Kopierwerk bis in die Negativentwicklung mit einigen Risiken verbunden. Abgesehen davon, dass der Fahrer verunglücken und das Material auf dem Weg ins Kopierwerk vernichtet werden könnte, können Fehler im Kopierwerk zu chemischen oder mechanischen Schäden führen. Darüber hinaus könnte das Material vor oder nach dem Durchlauf durch die Kamera belichtet worden sein, oder es kam zu *Druckbelichtungen* in der Kamera.

Dem entgegen steht nun ein digitaler Workflow, der sofortige *Backups* umfasst und völlige Datensicherheit verspricht. Es soll jedoch an dieser Stelle angemerkt werden, dass die Fehler in beiden Workflows oft menschlicher und weniger technischer Natur sind. Auch wenn digitale Workflows aus technischer Sicht sicherer erscheinen, bedeutet dies nicht, dass sie es tatsächlich auch sind. Digitale Daten sind nicht materiell und deshalb flüchtiger. Zusammen mit der Annahme, dass die Daten ohnehin sehr sicher seien, kann dies gerade bei unerfahrenem Personal zu einem sorglosen Umgang mit dem Rohmaterial führen. Dieses fehlende Bewusstsein kann sich unter Umständen sehr gefährdend auf die Datensicherheit auswirken. Es sollte sich also immer vor Augen gehalten werden, dass Daten in der digitalen Kinematografie ebenso wertvoll sind wie Negativmaterial.

### 4.3 On-Set Dailies (OSD)

In der Kinematografie, für TV- und Kinoproduktionen, sind *Muster* von großer Bedeutung. Sie geben Aussage über die Qualität des gedrehten Materials, welche Möglichkeiten es bietet und wie das Produkt letztlich aussehen könnte. Beim gewöhnlichen *Filmworkflow* ist die *Mustererstellung* erst im Laufe des nächsten Tages möglich. Der *Colorist* protokolliert dabei alle Fehler und setzt sich gegebenenfalls mit dem DoP in Verbindung. Das bedeutet, dass sich das Team entsprechend nur versetzt auf etwaige Fehler einstellen kann. Dieses System setzt sich grundsätzlich auch in der digitalen Kinematografie fort. Hier konnten hingegen Strategien und Techniken entwickelt werden, um früher Sicherheit in Bezug auf die technische Qualität des Materials zu bekommen.

Ein erster Schritt auf diesem Weg ist die erste technische Kontrolle am Set. Er kann jedoch keine völlige Sicherheit geben, da diese erst nach der Qualitätskontrolle in der Postproduktion gegeben ist. Auf Grundlage dieses Problems entwickelten die Firmen *Colorfront* und ARRI einen Workflow für die Mustererstellung für ARRI ALEXA und D21 direkt am Set. Die Plattform nennt sich *On-Set Dailies*. Wie der Name sagt, können damit Muster am Set erstellt werden. In der Postproduktion kann das bereits vorkorrigierte Material nahtlos weiter verwendet werden. *Colorfront* beschränkt sich dabei jedoch nicht mehr auf den einen Hersteller, sondern unterstützt mittlerweile alle gängigen Kamerasysteme und Formate.<sup>112</sup>

Auf dem gleichen System hat sich die *CinePostproduction GmbH* zum Beispiel eine voll ausgestattete, mobile *Grading-Suite* aufgebaut. Im sog. *Colormog* können die Muster direkt nach Drehschluss oder bereits während des Drehs in voller Qualität angesehen werden. Ergänzt wird diese Suite durch einen *3D-Trailer*, der das *Grading* mit einer 2K-Projektion auf einer 3,7m breiten 3D-Leinwand ermöglicht.<sup>113</sup>

Diese vielen technischen Errungenschaften bieten eine enorme Steigerung in Hinblick auf die Sicherung der technischen Abläufe und die Sicherheit der Produktion. Sie bergen allerdings auch einen gesteigerten Kostenaufwand für Technik und Personal. Die *CinePostproduction GmbH* liefert für seinen ausgeweiteten Workflow eigene DITs und Coloristen. Ein einzelner DIT kann allerdings einen solchen Aufgabenumfang nicht bewältigen. Eine Option könnten hierbei die *Express Dailies (ExD)* liefern, die kleine Schwester der OSD. Die ExD machen Vorabmuster noch flexibler über ein iPad möglich.

---

<sup>112</sup> vgl. Colorfront.com: ARRI and Colorfront launch On-Set Dailies

<sup>113</sup> vgl. CinePostproduction.de: 3D Trailer u. Colormog

## 5 Qualitätsprüfung in der Postproduktionsphase

Die Bedeutung des *Quality-Checks* bzw. der Qualitätsprüfung in der Postproduktion wurde bereits an verschiedenen Stellen dieser Arbeit deutlich. Sie liegt in der abschließenden Beurteilung des Materials auf seine technische Qualität. In diesem Kapitel sollen verschiedene Fehlertypen beschrieben werden, die bei einer Qualitätsprüfung relevant sind.

In der Postproduktion werden *Grade-1-Monitore* verwendet, die demnach als Messinstrumente gelten. Diese sind kalibriert und das Raumlicht wurde an sie angepasst. Es herrschen in den *Grading-Suiten* optimale Bedingungen zur Beurteilung des Bildes. Bildfehler können somit bestmöglich erkannt und in ihrer Schwere eingestuft werden. Dies können beschriebene Bildfehler wie Lichteinfall auf Linsen, *Shutter-Effekte* oder *digitales Ghosting* sein, die am Set nicht bemerkt wurden. Dies gilt auch für Unschärfen, Über- und Unterbelichtung. Alle auftretenden Fehler werden in einem Bericht protokolliert und den Verantwortlichen der Produktion mitgeteilt. Diese können auf diese Informationen reagieren und eventuell weitere Fehler vermeiden. Dies kann zum Beispiel bei wiederkehrenden Schärfenproblemen enorm wichtig sein, bei denen vielleicht ein grundsätzliches technisches Problem vorliegt. Der Kameraassistent hat so die Möglichkeit Kamera und Optiken zu prüfen und die Probleme zu beheben.

Im Folgenden werden weitere in dieser Arbeit noch nicht näher beschriebene technische Fehler dargestellt.

### *Über- und Unterbelichtung*

Bei Über- und Unterbelichtungen ist zu unterscheiden, ob das gesamte Bild zu hell oder zu dunkel ist, oder nur einzelne Teile des Bildes betroffen sind. Grundsätzlich richtet sich die Belichtung nach einem Objekt oder einer Person, die im Fokus einer Szene aus rein technischer Sicht korrekt belichtet sein sollte. Auch wenn das Objekt richtig belichtet ist, kann es vorkommen, dass bestimmte Teile im Bild *ausbrennen* oder *absaufen*. Dieses *Ausbrennen* bzw. *Absaufen* ist dabei ein technischer Fehler. Die betroffenen Bereiche besitzen keine differenzierten Informationen mehr und werden zu weißen oder schwarzen Flächen. Das bedeutet, dass sie nicht korrigierbar sind. Erfolgt eine Über- bzw. Unterbelichtung innerhalb der technischen Grenzen des Aufnahmeformats, – es findet also kein *Ausbrennen* oder *Absaufen* statt – kann der Fehler unter Qualitätsverlust korrigiert werden.

Im Rahmen der kreativen Belichtung können diese technisch betrachteten Fehler unter Umständen bewusst angewendet sein. Letztlich wird der subjektive Bildeindruck über die Qualität der Aufnahme entscheiden und kein Messinstrument.

### *Unschärfen*

Schärfe bzw. Unschärfe ist grundsätzlich am besten im direkten Vergleich beurteilbar. Dies gilt insbesondere, wenn es sich um geringfügige Unschärfen handelt. Häufig treten diese geringfügigen Abweichungen, bei aufwendigen Handlungen und Abläufen mit Bewegungen auf. Beim sog. *Schwimmer* liegt der Fokus während dieser Handlungen für einen Moment nicht korrekt auf dem Objekt. Darüber hinaus können natürlich auch ganze Einstellungen unscharf sein. Gerade bei *Nahen* und *Details* mit langen Brennweiten und offener Blende kann die Schärfentiefe so klein werden, dass innerhalb eines Gesichts gravierende Schärfenunterschiede entstehen. Je nach Fokussierung der Szene, sollte die *Kernschärfe* auf den richtigen Partien des Gesichts, wie zum Beispiel den Augen, liegen. Weicht die Schärfe nur geringfügig ab, wirkt sich dies hier besonders störend aus.

Je nach Ausmaß der Unschärfen entscheidet sich, ob die betroffenen Passagen überhaupt verwendet werden können. Sofern diese nicht bereits während des Drehs vom Script notiert wurden, wird dies spätestens in der Qualitätskontrolle protokolliert.

### *Dropped Frames und Pixels*

Dieser Fehler kann nicht bei der *Live-Kontrolle* während des Drehs entdeckt werden. *Dropped Frames* sind Bilder, die in der Aufzeichnung fehlen. An ihrer Stelle sind schwarze Bilder in der Aufnahme, die nicht rekonstruierbar sind. Es sind schlichtweg keine Bildinformationen aufgezeichnet worden. Dies geschieht, wenn beispielsweise das Aufnahme-medium sequenziell nicht mit dem Schreiben der Daten hinterher kommt.<sup>114</sup> Dies kann analog auch beim einzelnen Pixel auftreten.

### *Dead Pixels und Stuck Pixels*

Die hier beschriebenen Pixelfehler sind bautechnisch bedingt und damit örtlich fest definiert. Diese entstehen durch Unzulänglichkeiten in der Chipherstellung. *Dead Pixels* treten dabei im Bild als schwarze Punkte auf. Sie

---

<sup>114</sup> vgl. [Information-lexikon.de](http://Information-lexikon.de): Dropped Frames

zeichnen keinerlei Bildinformationen auf. *Stuck Pixels* hingegen werden als weiße Punkte sichtbar. Unabhängig von Lichteinfall werden hier Ladungen umgesetzt. Beide Pixelfehler können kameraintern oder nachträglich entfernt werden. Oft fallen die Pixel erst in der Postproduktion auf, wo das Material in nativem *RAW* vorliegt. Am Set werden die einzelnen Bildpixel interpoliert dargestellt, was die Pixelfehler kaschiert und somit zunächst unbemerkt lässt.

## 6 Fazit

Das oberste Ziel einer Filmproduktion ist die bestmögliche Qualität mit den gegebenen Mitteln zu erhalten und dabei die größte erdenkliche Sicherheit in den Produktionsabläufen zu erreichen.

Wie wirkt sich die Digitalisierung der Branche bzw. die Einführung der digitalen Filmkamera aus Sicht der Kamertechnik auf die Sicherheit einer Filmproduktion aus?

Die digitale Filmkamera bringt wesentliche Änderungen und Umstellungen gerade in den technischen Abläufen mit sich. Dabei liegt in neuen Strukturen grundsätzlich ein gewisses Gefahrenpotenzial.

Beginnend bei der Kamerawahl, entwickeln sich veränderte Anforderungen an den DoP. Die Auswahl an digitalen Filmkameras ist zwar durch technische Kriterien begrenzt, die zur Verfügung stehenden Kamerasysteme unterscheiden sich jedoch teilweise erheblich. Umso sorgfältiger sollte demnach auch die Kamerawahl unter Berücksichtigung der technischen Eigenschaften sein. Hierfür ist ein gewisses Maß an technischem Hintergrundwissen essentiell, welches letztlich auch zur Sicherheit der Produktion beiträgt. Gleiches gilt auch für den Kameraassistenten während des Kameratests, mit dem nach wie vor die Funktionstüchtigkeit der gesamten Technik sichergestellt wird. Aber nicht nur aus kamertechnischer Sicht sorgt dieser für Sicherheit, sondern auch in Bezug auf die Versicherung der Produktion.

Weiterführend gibt es neue Strukturen beim Personal der Kameraabteilung. Der durch die Digitaltechnik gesteigerter technischer Aufwand führt zu weit höheren Anforderungen an das Team. Die Berufsbilder des DIT und des Data-Wrangers ergänzen die Kameraabteilung und füllen bestehende Lücken. Der DIT trägt unter anderem durch Kenntnis potenzieller Problemfelder zur Sicherung der technischen Abläufe bei und ist Ansprechpartner für den DoP in technischen Fragen zur Optimierung des Bildes und Umsetzung kreativer Ziele. Die Kameraarbeit des DoP ändert sich mit der digitalen Filmkamera bedeutend, insbesondere in der Belichtung, da ihm hier feste, harte Grenzen vorgegeben sind und der Monitor für die Belichtung genutzt werden kann. Der DIT unterstützt den DoP bei der Belichtung und kontrolliert das Material während und nach dem Dreh. Dies gibt bereits vor der abschließenden Qualitätskontrolle Sicherheit. Abhängig vom Budget können OSD erstellt werden, die ein Maximum an Sicherheit während der Produktionsphase bringen.

Ein letzter wesentlicher Punkt ist die Datensicherheit. Digitale Workflows erscheinen aus technischer Sicht sicherer. Digitale Daten ersetzen materielles greifbares Filmmaterial. Ein fehlendes Bewusstsein für das wertvolle Rohmaterial kann sich jedoch gefährdend auf die Datensicherheit auswirken.

Alles in allem hat sich die Filmbranche weitestgehend an die neuen Strukturen und Gegebenheiten angepasst und entwickelt immer weitere Strategien und Techniken zur Optimierung bestehender Workflows. Dabei liegt die Sicherung der technischen Abläufe im Fokus dieser Entwicklungen, welche bereits heute ein sehr hohes Maß an Sicherheit für eine Filmproduktion bieten.

## **Literaturverzeichnis**

### *Bücher*

Schmidt, Ulrich, Springer-Verlag (Hrsg.): Professionelle Videotechnik, Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD, DI, 3D. 5. Auflage, Berlin Heidelberg, 2009

Weber Verlag (Hrsg.): Film & Tv Kameramann, Jahrbuch Kamera 2012. München, 2011

Wheeler, Paul, Elsevier Ltd. (Hrsg.): High definition cinematography. 3. Auflage, Oxford (UK), 2009

### *Zeitschriften*

Schwider, Peter Mario: CCD- und CMOS- Bildsensoren. Grundbegriffe und Applikationen in der Lasertechnik. In: Laser Technik Journal, Nr. 5, November 2006

I. Weber Verlag (Hrsg.): Film & Tv Kameramann, Monografie Aktuelle Kameras. Sonderpublikation, Ausg. 3, München, März 2012

### *Spezifikationen*

Digital Cinema Initiatives, LLC (Hrsg.): Digital Cinema System Specification. Version 1.2, 2008

European Broadcasting Union (Hrsg.): EBU-Tech 3320. 2010

International Telecommunication Union (Hrsg.): Recommendation ITU-R BT.709-5. 2002

International Telecommunication Union (Hrsg.): ITU T-REC-H.264. 2012

### *Datenblätter und Bedienungsanleitungen*

Arnold & Richter Cine Technik GmbH & Co. KG (Hrsg.): ARRI ALEXA, Data Sheet. 2011

[http://www.arri.com/camera/digital\\_cameras/cameras/camera\\_details.html?product=9&subsection=downloads&cHash=234fb5a4a8](http://www.arri.com/camera/digital_cameras/cameras/camera_details.html?product=9&subsection=downloads&cHash=234fb5a4a8)  
abgerufen am 24.06.2012

Avid Technology (Hrsg.): Avid DNxHD Technology. 2008

<http://www.avid.com/static/resources/US/documents/dnxhd.pdf>  
abgerufen am 13.08.2012



- Avid Technology (Hrsg.): MXF Unwrapped. 2006  
<http://www.avid.com/static/resources/common/documents/mxf.pdf>  
abgerufen am 13.08.2012
- Brendel, Harald, ARRI (Hrsg.): ALEXA LogC Curve, Usage in VFX. 2012  
[www.arri.de/?eID=registration&file\\_uid=8026](http://www.arri.de/?eID=registration&file_uid=8026)  
abgerufen am 28.07.2012
- P+S Technik (Hrsg.): PS-Cam X35, Die universelle Motion-Effect Kamera für den täglichen Einsatz  
[http://www.pstechnik.de/downloads/TDB\\_PSCamX35\\_de\\_110825\\_web.pdf](http://www.pstechnik.de/downloads/TDB_PSCamX35_de_110825_web.pdf)  
abgerufen am 20.08.2012
- P+S Technik (Hrsg.): WEISSCAM HS-2 MK II (siehe Anlage 5)  
Erhalten am 02.11.2011 via E-Mail von Johannes.Knaupp@weisscam.com
- Sony Corporation (Hrsg.): F65, SRMASTER-Kamera mit 35-mm-8K-CMOS-Sensor  
<http://www.sony.de/biz/product/4kcinematographycamcorders/f65/features>  
abgerufen am 28.04.2012
- Sony Corporation (Hrsg.): F-35, CineAlta-Kamera mit Super-35-mm-CCD-Sensor und PL-Objektivfassung  
[http://www.sony.de/biz/pdf/GeneratePDF.action?product=F35&site=biz\\_de\\_DE](http://www.sony.de/biz/pdf/GeneratePDF.action?product=F35&site=biz_de_DE)  
abgerufen am 05.04.2012

### *Broschüren*

- Arnold & Richter Cine Technik GmbH & Co. KG (Hrsg.): ALEXA Studio, Electronic and Mirror Shutter. 2012  
[http://www.arri.de/?eID=registration&file\\_uid=8218](http://www.arri.de/?eID=registration&file_uid=8218)  
Stand: 19.01.2012, abgerufen am 29.07.2012
- Hewlett-Packard Development Company, L.P. (Hrsg.): Understanding the LP2480zx DCI-P3 HP Emulation Color Space. 2009  
<http://h20331.www2.hp.com/hpsub/downloads/Understanding%20the%20LP2480zx%20DCI%20P3%20Emulation.pdf>  
abgerufen am 04.07.2012
- Sony Corporation (Hrsg.): F-65 – Digital Motion Picture Camera. 2012  
<http://www.sony.de/res/attachment/file/64/1237484889064.pdf>  
abgerufen am 24.06.2012
- Sony Corporation (Hrsg.): High Definition Format Guide. 2006  
<http://www.sony.de/res/attachment/file/81/1166605185481.pdf>  
abgerufen am 08.07.2012

*Internetquellen*

Apple.com: Informationen zu Apple ProRes

[http://support.apple.com/kb/HT5151?viewlocale=de\\_DE](http://support.apple.com/kb/HT5151?viewlocale=de_DE)

abgerufen am 20.08.2012

ARRI.com:

ALEXA Frequently Asked Questions:

[http://www.arri.com/camera/digital\\_cameras/learn/alexa\\_faq.html?no\\_](http://www.arri.com/camera/digital_cameras/learn/alexa_faq.html?no_)

abgerufen am 20.08.2012

- What is the difference between Log C (film matrix off), Log C (film matrix on), Rec 709 and DCI P3?
- Can I use traditional ND filters with ALEXA?

LUTS: Look Up Tables:

[http://www.arri.com/de/camera/digital\\_cameras/tools/lut\\_generator.html](http://www.arri.com/de/camera/digital_cameras/tools/lut_generator.html)

abgerufen am 10.08.2012

Bet.de (Internet-Fachwörterbuch): Shutter-Effekt

<http://bet.de/lexikon/begriffe/Shuttereffekt.htm>

abgerufen am 20.08.2012

BVKamera.org: Berufsbild DIT (Digital Image Technician)

[http://www.bvkamera.org/bvkamera/bb\\_dit.php](http://www.bvkamera.org/bvkamera/bb_dit.php)

Stand: 07.2012, abgerufen am 13.08.2012

Cameratechnica.com: Technology Demystified: Backside Illuminated Sensors

<http://www.cameratechnica.com/2011/06/23/technology-demystified-backside-illuminated-sensors/>

Stand: 23.06.2011, abgerufen am 07.08.2012

Canon.de: Cinema EOS Serie: Entwicklung eines Canon Profi-Camcorders für die 4K-Filmproduktion

[http://www.canon.de/About\\_Us/Press\\_Centre/Press\\_Releases/Consumer\\_News/Digital\\_Cinema/Canon\\_announces\\_digital\\_cinema\\_camera\\_4K\\_video.aspx](http://www.canon.de/About_Us/Press_Centre/Press_Releases/Consumer_News/Digital_Cinema/Canon_announces_digital_cinema_camera_4K_video.aspx)

Stand: April 2012, abgerufen am 28.07.2012

CinePostproduction.de

3D Trailer: <http://cinepostproduction.de/?cat=3#tab8>

Abgerufen am 26.07.2012

Colormog: <http://cinepostproduction.de/?cat=3#tab7>

Abgerufen am 26.07.2012

Video: Digital dailies workflow:

[http://cinepostproduction.de/\\_elements/media/cpp\\_data\\_wrangling\\_bw\\_ipad.mov](http://cinepostproduction.de/_elements/media/cpp_data_wrangling_bw_ipad.mov)

abgerufen am 13.08.2012

- Cnet.de: Schneller, heller, smarter: Wie BSI-Sensoren die Digicams revolutionieren  
[http://www.cnet.de/digital-lifestyle/trends-technik/41529195/schneller\\_\\_heller\\_\\_smarter\\_wie\\_bsi\\_sensoren\\_die\\_digicams\\_revolutionieren.htm](http://www.cnet.de/digital-lifestyle/trends-technik/41529195/schneller__heller__smarter_wie_bsi_sensoren_die_digicams_revolutionieren.htm)  
Stand: 17.03.2010, abgerufen am 07.08.2012
- Codexdigital.com: ARRIRAW Feature Film  
<http://www.codexdigital.com/workflow/arriraw>  
abgerufen am 20.08.2012
- Colorfront.com: ARRI and Colorfront launch On-Set Dailies  
<http://www.colorfront.com/index.php?page=NEWS&spage=On+Set+Dailies>  
abgerufen am 13.08.2012
- DigitalProduction.com: Cinema EOS C500: 4K RAW-Camcorder  
<http://www.digitalproduction.com/de/industrie/detailansicht-industrie/artikel/cinema-eos-c500-4k-raw-camcorder/>  
Stand: 16.04.2012, abgerufen am 09.08.2012
- Information-lexikon.de: Dropped Frames  
<http://www.information-lexikon.de/cms/lexikon/lexikon-d/728-dropped-frames.html>  
abgerufen am 29.07.2012
- ITWissen.info (Internet-Lexikon):  
Blooming: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Blooming.html>  
abgerufen am 12.07.2012  
Datenwort: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Datenwort-word.html>  
abgerufen am 07.08.2012  
DPX (digital picture exchange): <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/DPX-digital-picture-exchange.html>  
abgerufen am 07.08.2012  
S/N (Signal-Rausch-Verhältnis):  
<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Signal-Rausch-Verhaeltnis-SNR-signal-to-noise-ratio-S-N.html>,  
abgerufen am 02.07.2012
- Movie-College.de: Kameraschwenk  
<http://www.movie-college.de/filmschule/filmgestaltung/kameraschwenk.htm>  
abgerufen am 17.08.2012
- Nikoneurope-de.custhelp.com: Was ist Moiré?  
[https://nikoneurope-de.custhelp.com/app/answers/detail/a\\_id/9559](https://nikoneurope-de.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/9559)  
Stand: 02.04.2004, abgerufen am 07.08.2012
- Panavision.com: SPECS  
<http://www.panavision.com/content/genesis>  
abgerufen am 28.07.2012

Pomfort.com: Offload and back up  
<http://pomfort.com/silverstack/setedition.html>  
abgerufen am 24.07.2012

RED.com:  
TECH SPECS (RED ONE): <http://www.red.com/products/red-one>  
abgerufen am 28.07.2012  
TECH SPECS (Epic): <http://www.red.com/products/epic>  
abgerufen am 28.07.2012

Weisscam.com: Bayer Pattern (debayering)  
<http://www.weisscam.com/lexicon/b/bayer-pattern-debayering.html>  
abgerufen am 25.06.2012

Wikipedia.org: H.264  
[http://de.wikipedia.org/wiki/H.264#cite\\_note-1](http://de.wikipedia.org/wiki/H.264#cite_note-1)  
abgerufen am 20.08.2012

### *Personenquellen*

Ganghofer, Matthias (1. Kameraassistent): Kamerateam u. Strukturen am Filmset.  
Schriftlicher Kontakt, 20.07.2012 (Protokoll s. Anlage 1)

Netzer, Ralph (Kameramann): Wandel der Kameraarbeit. Telefonischer Kontakt,  
09.08.2012 (Protokoll s. Anlage 2)

P+S Technik: PSCam X35. Telefonischer Kontakt, 10.08.2012  
(Protokoll s. Anlage 3)

Reichenbach, Silvio (DIT): Pixelstruktur, Dynamik, Signalkontrolle und  
Datenworkflow. Telefonischer Kontakt, 08.08.2012 (Protokoll s. Anlage 4)

### *Bildquellen*

Abbildung 1: Grafik wurde bearbeitet und angepasst  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/CCD\\_types\\_schematic.p  
ng,](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/CCD_types_schematic.png)  
abgerufen am 24.06.2012

Abbildung 2: Grafik wurde bearbeitet und angepasst  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/CCD\\_types\\_schematic.p  
ng,](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/CCD_types_schematic.png)  
abgerufen am 24.06.2012

Abbildung 3: Grafik wurde bearbeitet und angepasst  
[http://static.photo.net/attachments/bboard/00A/00AAM0-20520484.jpg,](http://static.photo.net/attachments/bboard/00A/00AAM0-20520484.jpg)  
abgerufen am 28.4.2012

Abbildung 4: Grafik wurde bearbeitet und angepasst

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/CCD\\_types\\_schematic.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/CCD_types_schematic.png),  
abgerufen am 24.06.2012

Abbildung 5: Schmidt 2009, 371, Abb. 6.21.

Abbildung 6: Grafik wurde bearbeitet und angepasst  
[http://www.cameratechnica.com/wp-content/uploads/2011/06/frontside-illuminated\\_sensor.png](http://www.cameratechnica.com/wp-content/uploads/2011/06/frontside-illuminated_sensor.png),  
[backside-illuminated\\_sensor.png](http://www.cameratechnica.com/wp-content/uploads/2011/06/backside-illuminated_sensor.png),  
abgerufen am 23.06.2012

Abbildung 7:  
Links: <http://www.prophoto-online.de/images/719/rolling-shutter-1.jpg>,  
abgerufen am 26.07.2012  
Rechts: In: slides-CMOSIS-vision-11062008.pdf, 7  
<http://www.cmosis.com/assets/pdf/publications/slides-CMOSIS-vision-11062008.pdf>  
abgerufen am 12.08.2012

Abbildung 8: Grafik wurde bearbeitet und angepasst  
In: ARRI Broschüre: ALEXA Studio, Electronic and Mirror Shutter, 6

Abbildung 10: Grafik wurde bearbeitet und angepasst  
In: Sony Datenblatt: F-65, Digital Motion Picture Camera, 4

Abbildung 11:  
<http://www.itwissen.info/bilder/berechnung-des-signal-rausch-verhaeltnisses.png>;  
abgerufen am 02.07.2012

Abbildung 13: Grafik wurde bearbeitet und angepasst  
<http://www.vitalcn.com/UploadSysFiles/images/CIE1931grid.jpg>,  
abgerufen am 04.07.2012

Abbildung 14: Grafik wurde bearbeitet und angepasst  
[http://www.arri.com/fileadmin/media/arri.com/camera/Digital\\_Cameras/Learn/FAQ/faq\\_s\\_3\\_tonal-range.jpg](http://www.arri.com/fileadmin/media/arri.com/camera/Digital_Cameras/Learn/FAQ/faq_s_3_tonal-range.jpg),  
abgerufen am 26.07.2012

Abbildung 17:  
<http://oly-e.de/pdf/siemensstern.pdf>,  
abgerufen am 07.06.2012

Abbildung 20: linke Grafik wurde angepasst, ursprünglich wurde ein übersteuertes Signal gezeigt  
Schmidt 2009, 110+111, Abb.2.115. u. Abb.2.118

Abbildung 23: Grafiken wurden zusammengefügt, bearbeitet und angepasst

[http://www.univie.ac.at/video/postproduktion/img\\_postproduktion/Farbkreis-FCP.png](http://www.univie.ac.at/video/postproduktion/img_postproduktion/Farbkreis-FCP.png);  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Vectorscope\\_graticule.png](http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Vectorscope_graticule.png);  
<http://images0.slashcam.de/texte/329-Abbildung1-eins.gif>  
abgerufen am 13.07.2012

Abbildung 25: zusammengestellt aus:

<http://www.cinematography.net/Gothenburg/IR.htm>;  
<http://www.steePhill.tv/2007/queenstown/fullsize/lens%20flare%20at%20sunset.jpg>;  
<http://www.movie-college.de/filmschule/filmgestaltung/images/Shuttereffekt.jpg>;  
abgerufen am 26.07.2012

### *Sonstige Quellen*

Anlage 6: CIE 1931 Chromaticity Diagram, Film

erhalten am 10.08.2012 via E-Mail von [holger.schwaerzel@kodak.com](mailto:holger.schwaerzel@kodak.com)

Forumbeitrag von ARRI-Mitarbeiter Harald vom 21.03.2011 um 10:46:25 Uhr

<http://www.arri-digital.com/forum/index.php?action=printpage;topic=5271.0>  
abgerufen am 20.08.2012

## **Anlagen**

## **Verzeichnis der Anlagen**

<i>Anlage 1:</i>	Interviewprotokoll: Ganghofer, Matthias .....	LXXVII
<i>Anlage 2:</i>	Interviewprotokoll: Netzer, Ralph .....	LXXX
<i>Anlage 3:</i>	Interviewprotokoll: P+S Technik .....	LXXXI
<i>Anlage 4:</i>	Interviewprotokoll: Reichenbach, Silvio .....	LXXXII
<i>Anlage 5:</i>	Datenblatt: TDB_Weisscam_HS-2_110803_web.pdf .	LXXXVIII
<i>Anlage 6:</i>	CIE 1931 Chromaticity Diagram, Film .....	XC



## **Anlage 1: Interviewprotokoll: Ganghofer, Matthias**

Interview mit Matthias Ganghofer, freiberuflicher 1. Kameraassistent seit 1997.

Das Interview wurde schriftlich am 20. Juli 2012 zwischen 16 und 17 Uhr geführt.

*Wenn das Aufnahmeformat bzw. die Chipgröße verringert wird, ist zunächst eine Verkleinerung der Schärfentiefe zu beobachten. Um bei konstantem Abstand die gleiche Einstellungsgröße zu erhalten, muss allerdings eine kürzere Brennweite verwendet werden. Dies wiederum bringt eine Erweiterung der Schärfentiefe mit sich. Welcher dieser beiden Faktoren ist an dieser Stelle der entscheidende?*

Bestimmend wirken sich immer Brennweite, Blende und auch der Abstand auf die Schärfentiefe aus. Diese Faktoren haben den größten Einfluss. Der Durchmesser des zulässigen Unschärfekreises hat einzeln betrachtet verhältnismäßig wenig Einfluss auf die Schärfentiefe. Somit ist auch zu erklären, dass ein größeres Aufnahmeformat bei gleichem Abstand und gleicher Einstellungsgröße eine geringere Schärfentiefe hat.

*Einige Fragen zum Kameratest – Wie lange dauert in der Regel der Kameratest und wo von hängt der Umfang des Tests ab?*

Die Dauer des Tests ist von vielen Faktoren abhängig. Je aufwendiger ein Dreh ist und je spezieller die Anforderungen sind, desto länger dauert der Test. Den Test für digitale Formate kann man, wenn ein ausreichend guter Monitor zur Verfügung steht, vor Ort auswerten. Tests auf Film müssen erst entwickelt werden. Für normale TV-Spielfilmproduktionen dauert ein Test zwischen 1-4 Tage. Drehs ohne Test oder mit 10-tägiger Testphase sind denkbar.

*Aus welchen Gründen wird der Kameratest dokumentiert?*

Der Test muss genau dokumentiert werden, damit der Assistent nachweisen kann, dass ein systematischer Kamera-, Objektiv- oder sonstiger Materialfehler erst im Laufe einer Produktion entstanden ist und nicht vorab hätte bekannt sein können. Nur

wenn die Produktion dies über einen nachvollziehbaren Test belegen kann, zahlt die Versicherung. Außerdem werden mit dem Test auch Produktionsstandards festgelegt. Der Frameleader dokumentiert gegenüber dem Schneiderraum (der gesamten Postproduktion) welcher Teil des Vollbildes für die Projektion oder Sendung bestimmt ist. Alle zu dokumentierenden Testteile müssen auf einer Anfangstafel Projekt-Titel, Produktion, Kam.Assi-Name (Telefonnummer) enthalten um eindeutig zugewiesen und zuverlässig gefunden zu werden. Die Testanordnung muss nachvollziehbar dokumentiert werden.

*Teil des Tests ist auch der Objektivtest. Inwieweit würde sich ein verstelltes Auflagenmaß an der Kamera bzw. an einem Objektiv auswirken?*

In diesem Fall würden Objekte nicht scharf dargestellt werden, obwohl der Abstand an dem Objektiv korrekt eingestellt ist.

*Wie ist in diesem Zusammenhang zu erklären, dass Zoomobjektive in Brennweitenbereichen Abdriften können, also sich nicht linear verhalten?*

Dieses nichtlineare Verhalten liegt daran, dass sich verschiedene Linsengruppen separat in dem Objektiv bewegen. Das Schneckengetriebe überträgt dabei die Einstellung des Skalierungsrades auf die verschiedenen Linsengruppen. Ist dieser Schneckengang ausgeschlagen, kommt es zu diesen nichtlinearen Abweichungen.

*Mit dem DIT und Data-Wrangler unterstützen weitere Assistenten das Kameradepartment. Werden die Aufgaben dadurch neu verteilt?*

Funktion, Arbeitsweise und Hierarchie der digitalen Assistenten in Vor- und Postproduktion und am Set sind durch die Branche noch nicht klar definiert. Während ein Data-Wrangler, wie der Name schon sagt, v.a. in der Lage sein muss die Daten sicher auf ein Speichermedium zu bringen, ist der Digital Image Technician für die gesamte Produktion für die Umsetzung auf dem Digitalen Medium verantwortlich.

Grundsätzlich kann man sagen: Aufgaben in der Kamera-Crew müssen unbedingt im Vorfeld klar abgestimmt werden

## Anlage 1

### *Obliegen dem DIT bereits in der Vorproduktionsphase Aufgaben in Zusammenarbeit mit dem DoP?*

Eine wesentliche Aufgabe des DIT kann in der Vorproduktion auch sein, mit dem DoP zu besprechen, wie dessen visuelle Vorstellungen zu realisieren sind, z.B. gegebenenfalls bereits vor dem Dreh sog. LUTs (LookUpTables) zu erstellen oder auf Besonderheiten des jeweiligen Mediums oder der Kamera in technischer Hinsicht der Bildverarbeitung hinzuweisen.

Berlin, 20. Juli 2012

## **Anlage 2: Interviewprotokoll: Netzer, Ralph**

Interview mit Ralph Netzer, Kameramann seit 1997.

Das Interview wurde telefonisch am 09. August 2012 um 21 Uhr in Berlin geführt und von Marvin Borchers protokolliert.

### **Thema Wandel der Kameraarbeit**

*Mit der digitalen Filmkamera verändert sich auch die Arbeit des Kameramannes. Wie können in diesem Zusammenhang die Veränderungen für den Schärfenassistenten beurteilt werden?*

Der Schärfenassistent ist im Vergleich zu 35mm schon stärker gefordert. Leichte Unschärfen sind bei Film nicht so stark sichtbar.

*Woran liegt das?*

Bei Film sind die Silberkristalle, also das Korn, unregelmäßig verteilt. Von Bild zu Bild ändert sich dabei die Struktur des Filmkorns, es bewegt sich förmlich.

Die digitalen Kameras haben ein festes Raster und machen hingegen so scharfe und knackige Bilder, dass das Bild mit Filtern oder in der Postproduktion weicher gemacht werden muss. Das kommt natürlich immer auf den gewünschten Look an. Filter wie Pro-Mist, Low-Contrast oder Soft FX können in diesen Fällen benutzt werden.

*Verändert die digitale Aufzeichnung den Umgang mit den Drehverhältnissen, bzw. besteht die Gefahr, dass das Ausartet?*

Ja, das kann natürlich passieren. Der digitale „Filmmeter“ kostet ja nichts. Gerade im dokumentarischen Bereich kann das gefährlich werden. Da wird gerne mal einfach „draufgehalten“. Beim Spielfilm sehe ich das Problem nicht. Man steht da so unter Druck, das Pensum für den Tag zu bewältigen, da kann gar nicht so ausufernd gedreht werden. Außer natürlich man dreht mit mehreren Kameras!

Berlin, 09. August 2012

### **Anlage 3: Interviewprotokoll: P+S Technik**

Interview mit einem Techniker der Firma P+S Technik.

Das Interview wurde telefonisch am 10. August 2012 um 16 Uhr von Berlin nach München geführt und von Marvin Borchers protokolliert.

*Die RAW-Aufzeichnung mit der PS-Cam X35 wurde für dieses Jahr angekündigt. Wird diese mittlerweile unterstützt?*

Ja und nein. Also, es gibt seit einpaar Wochen ein Update der Kamera, mit dem letztlich die Rohdaten der Kamera in einem HD-Frame untergebracht werden. Erst in der Postproduktion können die Rohdaten dann ausgewertet werden.

*Und das HD-Signal kann mit einem herkömmlichen Rekorder aufgezeichnet werden?*

Ja, genau. Wenn man sich allerdings die HD-Ausspielung des Rekorders ansieht, ist das Bild etwas grünlich und grau. Aber das ist grundsätzlich etwas schwierig mit dem Workflow, da man die Rohdaten nur an einer Workstation mit einer BlueFish-Card überspielen kann.

Derzeit sind wir im Gespräch mit Codex, die für uns eine richtige RAW-Aufzeichnung umsetzen wollen, aber das dauert. Denen haben wir auch schon Druck gemacht, weil wir jetzt endlich mit der Kamera in RAW drehen wollen.

Berlin, 10. August 2012

#### **Anlage 4: Interviewprotokoll: Reichenbach, Silvio**

Interview mit Silvio Reichenbach, Radio- und Fernsichttechniker seit 1977 und arbeitet heute unter anderem als DIT.

Das Interview wurde telefonisch am 08. August 2012 zwischen 12 Uhr und 13.30 Uhr von Berlin nach München geführt und von Marvin Borchers protokolliert.

##### **Thema Pixelstruktur**

*Inwieweit wirkt sich die Sub-Pixel-Struktur der digitalen Filmkameras auf Moiré-Effekte aus und wirkt sich die Bayer-Struktur besser auf die Minderung des Effekts aus als RGB-Streifenfilter?*

Also, meiner Erfahrung nach sind Kameras mit Bayer-Pattern weniger anfällig auf Moiré. Bei den Streifenfiltern habe ich erlebt, dass es schneller und stärker zu Fehlern in Mustern kommt. Also, da muss ich schon mehr drauf achten. Also, ich würde sagen: Bei den Streifenfiltern bilden ja drei Pixel-Linie – also 2x3 Pixel – ein Bildpixel. Bei der Bayerstruktur sind es nur 2x2 Pixel. Ich würde vermuten, dass die Fläche beim Bayer-Pattern einfach kleiner ist. Das hängt natürlich von der Größe der Sub-Pixel ab. Ich denke aber, dass sich die Mosaikstruktur beim Bayer auch positiv auswirkt.

*Inwieweit wirkt sich die Steigerung der effektiven Auflösung durch Algorithmen auf die Schärfe und Moiré aus?*

Mehr Pixel führen in jedem Fall zu einer besseren Schärfenwiedergabe. Das wirkt sich ebenfalls auf den Moiré-Effekt aus, da nun das Raster des Aufnahmechips enger wird. Moiré entsteht ja durch sog. Unterabtastung von Mustern. Wenn nun die effektive Auflösung durch Algorithmen erweitert wurde, ist das nicht mit einer tatsächlichen Auflösung zu vergleichen. Letztlich kommt es auf die nativen Pixel, also die Pixel die tatsächlich auf dem Chip sind, an. Somit gehe ich davon aus, dass sich weniger berechnen bei gleicher Auflösung auch besser auf Moiré auswirkt.

**Thema Dynamik und Rauschen**

*Ist es als DIT wichtig, die verschiedenen Rauschtypen zu kennen?*

Bei der Arbeit am Set ist es grundsätzlich nicht wichtig, aber Hintergrundwissen ist immer von Vorteil. Gerade wenn es dann um die Nachbearbeitung geht, wird dieses Thema schon wichtiger. Der DIT ist ja sozusagen ein Bindeglied zwischen Set und Postproduktion.

Also, ich würde sagen, die Rauschtypen zu kennen ist keine Grundvoraussetzung für einen DIT. Es kann aber eventuell sehr hilfreich sein, um Fehlerquellen beurteilen zu können.

*Gibt es einen Anwendungsbereich in der digitalen Kinematografie für das 4:4:4:4 RGBA Format?*

Meines Wissens nicht. Wenn dieses Format gewählt wird, zeichnen die Kameras den Alphakanal auch nicht auf. Das heißt also, dass er leer ist. In der Nachbearbeitung können dann später weitere Information gespeichert werden. Das ist ein Kanal für die Deckkraft der Pixel.

Die Verwendung außerhalb der Postproduktion macht allerdings nur bei mehreren Kameras für irgendwelche Überlagerungseffekte oder Stanzmasken usw. sinn. Beim Film ist mir so etwas aber noch nicht untergekommen.

**Thema Videovillage und Signalkontrolle**

*Wird im sog. Videovillage ausschließlich mit HD-Signalen gearbeitet, die grundsätzlich über HD-SDI übertragen werden?*

Bei der technischen Kontrolle, ja. Die Kameras geben ja auch alle über HD-SDI aus. Soll das Bild nur zur reinen Bildkontrolle sein, also für Regie und die anderen Gewerke, reicht meistens auch ein SD-Signal aus.

*Wie sieht es bei Kinoproduktionen aus, gibt es Möglichkeiten um 2 - 4K zu kontrollieren? Wird spezielle Technik benötigt?*

Ja, bei der 2-4K Wiedergabe ist das schwieriger. Da man alleine schon die entsprechenden Monitore benötigt. Eine Live-Kontrolle in 4K zum Beispiel ist gar nicht möglich, sondern wenn überhaupt am Data-Wrangling-Spot bzw. bei den On-Set Dailies.

#### Anlage 4

Von RED gibt es beispielsweise den RED ROCKED. In Verbindung mit einem entsprechenden Monitor kann das Material in voller Auflösung angesehen werden. Dieser zusätzliche Aufwand wird allerdings eher bei Produktionen für Werbung betrieben, wenn Kunden am Set sind, die nicht von der Qualität enttäuscht werden sollen. Bei einem normalen HD-Bild könnten diese sich womöglich fragen, wo der Unterschied zwischen der RED und ihrem HD-Camcorder von zu Hause liegt.

*Das Luminanzsignal für HD-Signale ergibt sich wie folgt:  $Y = 0,213 R + 0,715 G + 0,072 B$ . Somit ist es möglich, dass das Luminanzsignal am Waveformmonitor OK ist, obwohl zwei der RGB-Kanäle übersteuern. Wie kann dieses Problem eingeschätzt werden?*

Zunächst ist es richtig, dass nach der Gleichung Kanäle übersteuern können und das Luminanzsignal trotzdem in Ordnung ist. Dieser Fall ist allerdings recht schwer zu erreichen. Dazu müsste eine Farbe schon sehr extrem im Bild vorkommen und die anderen nicht. Ich persönlich wechsele ohnehin bei der Kontrolle mit dem Waveformmonitor zwischen der Normal- und der Parade-Darstellung. So kann am besten sichergestellt werden, dass das Videosignal technisch Korrekt ist.

*Wenn ich davon ausgehe, dass das Signal über HD-SDI mit 4:2:2 Farbauflösung übertragen wird, wie aussagekräftig ist dann überhaupt die RGB-Parade, da das Signal aus einem in der Farbe zur Hälfte aufgelösten Signal zurückgewonnen wurde?*

Effektiv ist da natürlich ein Informationsverlust vorhanden, ja. Das ist aber vernachlässigbar. Zumindest hatte ich noch keine Probleme deshalb. Es sind eben die Farbinformationen jedes zweiten Pixels, die ich nicht kontrollieren kann. Und es ist sehr unwahrscheinlich, dass zwei Nachbarpixel derart unterschiedliche Werte haben, als dass technische Fehler übersehen werden könnten.

*Gibt es weitere Dinge, die bei der Verwendung des Waveformmonitors beachtet werden müssen?*

Der Waveformmonitor muss geeicht sein. Das ist Digital einfacher. Da teste ich die Geräte vorher mit einem Farbbalken. Das ist wirklich wichtig.



Dann können natürlich Fehler bei der Verkablung gemacht werden, die zur Verfälschung des Signals führen. Zum Beispiel darf HD-SDI nur in Reihenschaltung verkabelt werden und da sind die Längen auch begrenzt. Die ALEXA Plus hat zwei HD-SDI-Ausgänge. Da reserviere ich mir einen, der nur zur technischen Kontrolle dient.

Ansonsten ist die Arbeit mit dem Waveformmonitor sehr unterschiedlich. Das ist immer ein Zusammenspiel zwischen dem Kameramann, dem Assistenten und dem DIT. Manche Kameraleute belichten dabei streng technisch und manche rein optisch. Welchen Spielraum sie dabei haben muss ich dann abschätzen und gegebenenfalls auf technische Fehler hinweisen. Manchen Kameramännern sind diese Fehler dann egal.

Ach ja, und dann gibt es noch einen Unterschied zwischen den Farbräumen. Im Vergleich von Log-C und 709 ist der 709 flacher auf dem Waveformmonitor. Das muss man auch beachten. Das sind feine Unterschiede bei der Belichtung.

*Gibt es eine Anwendung für das Vektorskop am Set, oder nur im Studio zur Kalibrierung der Instrumente?*

Hauptanwendung aus meiner Erfahrung ist das Überprüfen auf Phasenverschiebungen in Signalen und das „Matchen“ von verschiedenen Kameras. Das kann der Weißabgleich bei Studioanwendung oder Live-Sendungen sein. Theoretisch könnte man aber auch zwei Kameras am Filmset „matchen“, wenn man sich dies in der Postproduktion sparen möchte.

*Und wie wird das Histogramm verwendet?*

Das Histogramm verwende ich eher nicht. Wobei es als Belichtungshilfe auch sehr nützlich sein kann. Viele Kameras, gerade auch bei HD-Camcordern, haben diese integriert. Aber auch die Canon 5D Mark III und auch die RED ONE. Das Histogramm kann da durchaus zur Belichtung genutzt werden, nur sagt das Diagramm weniger über die örtliche Verteilung der Helligkeiten im Bild aus. Deshalb kontrolliere ich das Bild extern, sobald eine externe Lösung vorhanden ist.

## Anlage 4

### Thema Probleme und Fehlertypen

#### *Sind CMOS und CCDs gleichermaßen infrarot anfällig?*

Ja, da ist mir nichts anderes bekannt. Das kommt auf das jeweilige Kamerasystem und die Filtersysteme an. Gerade bei digitalen Filmkameras wird auf feste Filter, die das Problem beheben würden, verzichtet, um die Empfindlichkeit der Kameras nicht zu senken.

#### *Weiter fallen mir Fehler wie Lichteinfall, Shutter-Effekte oder Moiré ein. Sind auf weitere Fehler oder Dinge zu achten?*

Ganz wichtig ist, ständig zu kontrollieren, ob das Setup der Kamera richtig und nicht verstellt ist. Das sind Empfindlichkeit, Framerate usw., die gerade nach Abstürzen überprüft werden müssen. Ich hatte das einmal mit der RED: Nach einem Absturz hatte die Kamera ein völlig anderes Setup. Deshalb schaue ich auch nach jedem Akkuwechsel einmal auf die Kamera.

Fehlerquellen liefern auch immer Kabel. Da ist zu Prüfen, ob die Ausspielung der Kamera richtig gesteckt ist. Ich habe schon erlebt, dass Ein- und Ausgang am Monitor vertauscht wurde. Das ergab dann aus irgendeinem Grund trotzdem ein Bild. Das war allerdings viel zu hell und führte zu Irritationen.

Defekte Kabel können auch bei der Datensicherung verheerend sein. So können wichtige Daten verloren gehen. Manchmal ist der Defekt nicht auf Anhieb zu sehen und tritt willkürlich auf.

#### *Wie sieht es mit digitalem Ghosting aus?*

Geisterbilder entstehen durch Reflexion auf dem Übertragungsweg oder Einstreuungen in Multicorekabeln. Eigentlich sollten die in der Digitaltechnik nicht mehr vorkommen, weil das reflektierte Signal zu schwach ist, und in den 0 Zustand des Digitalsignals fällt.

Das ist auch meine Meinung, hier können Fehler an Kabel, Steckern, Verteilern, Wandlern usw. vorliegen.

#### *Kommt digitales Ghosting auch Kameraintern vor?*

In der Kamera selbst darf das nicht passieren. Also, dann wäre die Kamera defekt.

*Wie könnte der sog. digitale Fusselcheck eingegrenzt werden und was gehört dazu?*

Der digitale Fusselcheck geschieht direkt am Set nach der Einstellung. Dazu gehört nicht was ich live kontrolliere. Diese Fehler sollten ja möglichst vor dem Drehen behoben sein. Den Fusselcheck mache ich, wenn Unsicherheiten bestehen, also wenn mir während des Takes etwas aufgefallen ist. Das kann auch sein, wenn der Kameraassistent den Take noch einmal auf Unschärfen überprüfen möchte. Die digitale Technik bietet da eine einfache und günstige Möglichkeit.

#### **Thema Datenworkflow**

*Über die Canon C-500 sind nur wenig Informationen zu finden, deshalb habe ich angenommen, dass sie ebenso wie die C-300 auf CF-Karten aufzeichnet. Ist dem wirklich so?*

Ja, die Canon C-500 zeichnet ebenfalls auf CF-Karten auf. RAW allerdings nicht.

*Wie unterscheidet sich der auf Band basierende Workflow vom clipbasierenden in der Datensicherung?*

Das verwendete Medium ist hier HDCAM SR. Die zugehörigen HDCAM SR Bänder werden eigentlich nicht am Set gesichert. Sie gehen ohne irgendetwas zu tun direkt in die Postproduktion. Ich spule die Bänder nicht einmal zurück, geschweige denn dass das Material zur Kontrolle angesehen wird. Die Gefahr, dass etwas mit dem Band passiert und es beschädigt wird, ist da einfach zu groß. Um sich das Gedrehte ansehen zu können, zeichne ich dann parallel intern oder auf einem anderen Recorder auf. So wird das Original nicht gefährdet.

In der Postproduktion wird später eventuell eine 1:1-Kopie des Bandes gemacht. Ansonsten wird oft neben der normalen Datensicherung zusätzlich noch eine Sicherung auf LTO gemacht.

Berlin, 08. August 2012

# WEISSCAM HS-2 MK II

P+S TECHNIK

## WEISSCAM HS-2

The WEISSCAM HS-2 MKII - Exceptional pictures meet workflow simplicity with a trusted capturing unit, used in more than two hundred capturing units worldwide.

**High Speed & Normal Cinematographic Speeds Rates**  
The WEISSCAM has the highest speed rate capabilities at highest picture quality as well as direct recording in normal speed; combined with 3D sync preparation and segmented recording on 36 GB memory makes it a multi-purpose camera

**High Quality & High Speed Rates**  
with up to 4.400 fps and constant picture quality using electronic shutter instead of mechanical shutter technology

**RAW & HD Workflows**  
The unique and universal design with two parallel dual link HD-SDI outputs in RAW (fast and standard) and HD combined with a fully IT-based workflow capability guarantees post flexibility

## KEY FEATURES

- Quality – Exceptional and consistent picture quality, also in low light, due to the latest enhanced noise reduction technology
- Variable Formats – new picture formats in RAW and HD in 720p, 1080i/p, 2K allow universal application in a variety of standards
- Record Modes – containing Ring Buffer, Sequence, Direct Recording and a variety of trigger modes. The direct mode allows a direct recording to external devices such as the DigiMag DM-2.
- Expanded onboard and Multi Segment Recording - The internal memory size, expanded to 36 GB RAM, now allows segmented recording

## SHOWREEL

WEISSCAM HS-2 Showreel available at <http://vimeo.com/pstechnik>



## TARGET APPLICATION

- Commercial
- Corporate
- Wildlife
- Documentary



*We recently used the WEISSCAM HS-2 from Movietech and the results were amazing! The light sensitivity of this high-speed camera is the best. I've experienced to date, with absolutely no compromise to the definition!*  
Director: Gary Holder, Production Company: Tangerine Films, Client: Jaguar Cars



*We trust the WEISSCAM HS-2 as the best option for high speed. It combines superb image quality with a friendly interface system without losing its professional image control*  
Jonas Pagazaurtundua  
Camaras y Luces Buenos Aires



*You can shoot up to 2.200 fps and see it right back in slow motion in 1080p without rendering it first - very cool*  
Denny Clairmont  
Clairmont Camera, Hollywood

[www.pstechnik.de](http://www.pstechnik.de)

# WEISSCAM HS-2 MK II

## P+S TECHNIK

### SPECIFICATIONS\*

Camera	Description	Specification
Sensor		CMOS 35Digital sensor, global shutter
	Sensitivity	> 600 ASA
	Dynamic Range	> 10 T-stop
Lens Mount	PS-IMS	various IMS mount adapters available
Resolution	2K	2016 x 1536
	Full HD	1920 x 1080
	HD	1280 x 720
Sensor Capture Size	2K (4:3)	22,2 x 16,9 mm (diagonal 27,9 mm)
	Full HD (16:9)	21,1 x 11,9 mm (diagonal 24,2 mm)
	HD (16:9)	14,0 x 8,0 mm (diagonal 16,2 mm)
Frame Rates & Speed Range	2K	up to 1.400 fps (25,50)
	1080i/p	up to 2.200 fps (23,98, 24,25,29,97,30,50,59,94)
	720p	up to 4.400 fps (23,98, 24,25,29,97,30,50,59,94)
Processing		Dark Reference, Film Mode
Recording	RAW	12 Bit uncompressed
	High Definition	4:2:2 10 Bit uncompressed
	Internal Memory 36 GB	8:20 min @ 24 fps (max)
		1:20 min @ 150 fps (max)
Interface	Output	RAW HD-SDI single link, dual link
		HD HD-SDI single link, dual link
		Data GigE
	Control	RS232 / USB / GigE
Power	Camera	24 V DC, approx. 80 W
	Accessories	24 V; 72 W
Dimensions	L x B x H	Approx. 316 mm x 201 mm x 210 mm
Weight		Approx. 8,6 kg

\*Subject to change without prior notice

### AVAILABLE ACCESSORIES

- AC power adapter incl. cables (included)
- WEISSCAMware debayering (included)
- Hand Unit HU-2 (recommended)
- Recording unit DM-2 (optional)
- External Debayer Box DBB (optional)



The best way to optimize a product is to work with it yourself

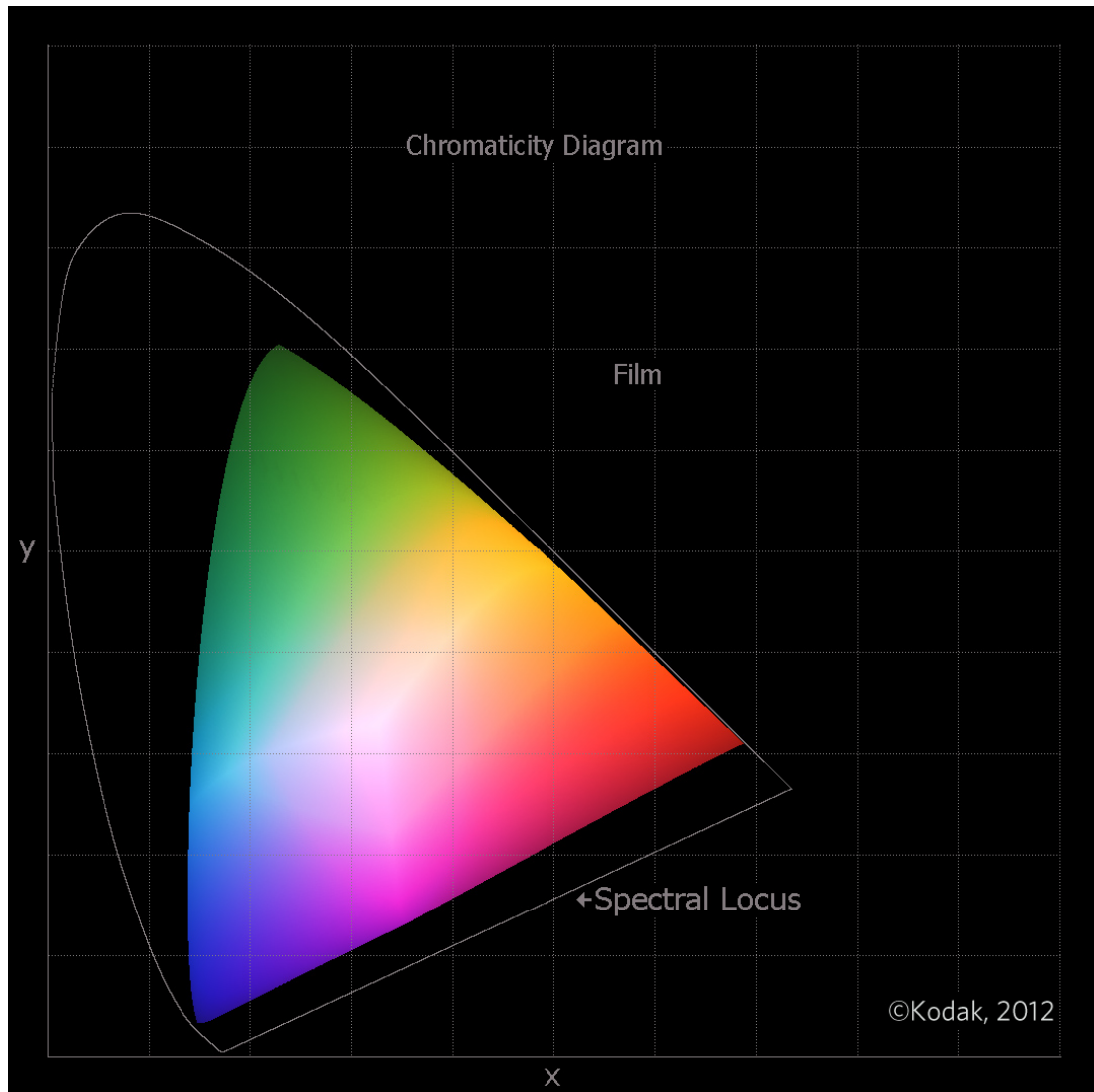
Stefan Weiss  
DP & Founder of WEISSCAM GmbH

### AVAILABILITY

P+S TECHNIK is the worldwide exclusive manufacturer of the WEISSCAM digital highspeed camera systems. It is distributed through P+S TECHNIK and its official reseller network.

[www.pstechnik.de](http://www.pstechnik.de)

**Anlage 6: CIE 1931 Chromaticity Diagram, Film**



### **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Berlin, 23. August 2012